


FONDO PIZZOFALCONE

THÉORIE

DES

PUITS ARTÉSIENS.

Autres Ouvrages du même Auteur.

—

Notice sur l'exactitude et l'usage du frein dynamométrique, pour la mesure de la puissance des usines; 1839, in-8. 2 fr.

Essai sur l'établissement et le contentieux des usines hydrauliques, ou précis élémentaire et pratique de ce qu'il importe aux manufacturiers de connaître pour l'usage et la conservation de leurs droits.

Cet ouvrage, dont l'auteur rassemble les matériaux depuis plusieurs années, est presque terminé, et paraîtra prochainement.

—

THÉORIE

DES

PUITS ARTÉSIENS,

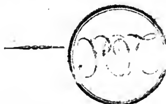
SUIVIE D'UNE INSTRUCTION PRATIQUE TRÈS-ÉTENDUE SUR LES MOYENS D'UTILISER CES PUITS DANS LES ARTS ET DANS L'AGRICULTURE;

PAR

J.-B. VIOLLET,

ingénieur civil hydraulicien, spécialement pour les opérations d'art et les mémoires contentieux relatifs aux litiges qui s'élèvent sur l'usage industriel des cours d'eau; membre de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, de la Société d'agriculture, d'arts, de sciences et de belles-lettres de Tours, etc.

La Société d'encouragement pour l'industrie nationale a décerné à l'auteur, en 1838, une médaille de platine, pour la première partie de cet ouvrage, et, en 1839, le rappel de cette médaille pour la seconde.)



PARIS,

CARILIAN-GOEURY et VICTOR DALMONT, libraires, quai des Augustins, 39;
MATHIAS, libraire, quai Malaquais, 15;
L. BOUCHARD-HUZARD, rue de l'Éperon, 7;
L'AUTEUR, ingénieur civil hydraulicien, rue St-Louis, au Marais, 79.

1840.

Imprimerie de L. Bouchard-Huzard,
rue de l'Éperon, 7.

A MONSIEUR

LE VICOMTE

HÉRICART DE THURY,

Conseiller d'État, Inspecteur général au corps royal des mines,
Membre de l'Académie royale des sciences,
Président de la Société royale et centrale d'agriculture,
Président de la Société royale d'horticulture,
Président de la Société séricicole, etc., etc.

Hommage de respect et de reconnaissance,

J.-B. VIOLLET.

AVERTISSEMENT.

L'art de forer les puits artésiens, pratiqué depuis un temps presque immémorial, n'a cependant pris que tout récemment l'extension qu'il possède aujourd'hui. Cet élan subit d'un art si important est dû surtout à l'impulsion donnée par l'Académie royale des sciences, par la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, et par la Société royale et centrale d'agriculture, qui ont ouvert, pour le perfectionnement et la propagation des sondages, des concours auxquels ont répondu dignement plusieurs ingénieurs et plusieurs constructeurs.

C'est à Tours, comme on le sait, et dans ses environs, qu'ont eu lieu les entreprises les plus multipliées et les plus remarquables par la quantité de leurs produits. Chargé d'utiliser la force motrice d'un des puits de cette ville, et consulté depuis par plusieurs propriétaires, j'ai été conduit à faire des expériences assez nombreuses, et à suivre attentivement tous les jaugeages et tous les phénomènes intéressants des principaux puits de la Touraine. Le nombre, l'abondance, le voisinage de ces puits, les effets de leurs eaux, m'ont fourni des documents extrêmement précieux, qu'il eût été impossible de réunir et surtout de comparer dans d'autres localités.

La nécessité de résoudre les questions si variées que présente l'établissement d'une usine, de re-

chercher la hauteur de l'orifice la plus avantageuse, pour l'obtention du maximum de travail dynamique, d'éviter tous les inconvénients, m'ayant, d'ailleurs, fait appliquer l'analyse à la discussion de mes observations, je fus d'abord conduit à une théorie encore incomplète, en ce qu'elle ne concernait que les puits placés dans certaines conditions, et j'en fis l'objet d'un mémoire adressé en 1836 à la Société d'encouragement pour l'industrie nationale. Ce mémoire fut accueilli par elle avec tant de bienveillance, et je reçus de la part de M. le vicomte Héricart de Thury, rapporteur du comité des arts mécaniques, des témoignages d'intérêt si honorables et si précieux, que je m'imposai dès lors le devoir de rechercher de nouveaux faits, et de parvenir, s'il était possible, à une théorie plus générale du mouvement de l'eau dans les sources artésiennes. Un second et un troisième mémoire, dans lesquels je soumis à la Société le résultat de mes nouvelles recherches, ayant encore obtenu les mêmes approbations, j'ai cru devoir les réunir au premier, et publier une théorie que des suffrages d'un aussi grand poids m'ont fait regarder comme utile.

La composition de cet ouvrage n'est donc pas, comme on le voit, le résultat d'une intention préméditée, et j'avoue qu'en rédigeant ma première notice je n'avais nullement la pensée d'y donner l'extension à laquelle j'ai été conduit par les encouragements que j'ai reçus. Lorsque j'ai donc voulu commencer l'impression de mon tra-

vail, je n'ai pas tardé à m'apercevoir du peu de liaison qui y régnerait, si je me bornais à reproduire, sans modifications, mes mémoires dans lesquels je n'étais parvenu que successivement aux principes que j'avais à exposer. J'ai reconnu, d'ailleurs, que ma théorie pouvait encore être étendue, et je n'ai pas hésité à la reprendre entièrement, en partant du cas le plus général, pour passer à la discussion des cas particuliers, tandis que mes recherches m'avaient conduit dans un ordre précisément inverse. J'ai dû aussi faire quelques changements dans les dénominations. Telles sont les causes des différences que l'on remarquera entre la partie théorique de mon ouvrage et les deux mémoires dont je viens de parler.

Je crains bien que, pour cet ouvrage, comme pour celui que j'ai publié dernièrement (*), on ne me reproche d'avoir employé trop de calcul pour la discussion de mon sujet. Mais, dans l'état d'avancement où sont aujourd'hui les sciences physico-mathématiques, il est impossible de se passer des ressources de l'analyse dans les moindres occasions, et je n'avais d'autre alternative que de m'en servir, ou de ne pas établir ma théorie : j'ai donc dû me soumettre à cette impérieuse nécessité. Comme, cependant, la publication de recherches purement mathématiques n'eût pas rempli mes

(*) Notice sur l'exactitude et l'usage du frein dynamométrique pour la mesure de la puissance des usines.

intentions, et n'eût rendu que des services bien imparfaits aux personnes qui n'ont pas l'habitude de ce genre de considérations, j'ai ajouté à la première partie de mon travail une seconde partie toute pratique, destinée à résumer les conséquences qui résultent de la première, à dépouiller ces conséquences des formules qui les enveloppent, et à rendre usuels les emplois les plus importants que l'on peut faire des eaux artésiennes. Cette partie pratique n'exige point l'étude de tous les numéros qui sont distingués par de petits caractères et par des astérisques, ni même celle de plusieurs autres numéros des chapitres II et III, de la première partie, auxquels je n'ai pas donné ces signes d'exception, parce qu'ils m'ont paru faciles. Les personnes étrangères à l'analyse pourront donc, si elles le jugent convenable, omettre totalement, sans inconvénient, la lecture des deux chapitres que je viens d'indiquer.

Le premier des rapports qui précèdent l'exposition de la théorie a été fait par M. le vicomte Héricart de Thury, à la Société d'encouragement, sur l'ensemble de l'ouvrage, après l'impression et avant la publication. Les cinq autres rapports ont été faits antérieurement sur les mémoires présentés par l'auteur à la même Société.

RAPPORT

FAIT A LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

POUR L'INDUSTRIE NATIONALE,

au nom du comité des arts mécaniques,

PAR M. LE VICOMTE HÉRICART DE THURY,

sur l'ouvrage de M. Viollet,

CONCERNANT LA THÉORIE DES PUITS ARTÉSIENS.

MESSIEURS,

M. Viollet, ingénieur civil hydraulicien, membre de la Société, s'est empressé de vous faire hommage, avant sa publication, du premier exemplaire de sa *Théorie des puits forés artésiens*, et vous nous avez chargés de vous en rendre compte.

Déjà M. Viollet vous avait successivement présenté les différentes parties de sa Théorie, et, profitant de vos observations, il y a fait quelques changements et additions que nous allons vous faire connaître.

Dans son premier mémoire, M. Viollet n'avait seulement considéré que les puits dans lesquels la nappe aquifère est tellement abondante que l'érogation produite par ces puits n'influe pas sensiblement sur la vitesse du fluide dans les conduits souterrains. Dans ces puits, la perte de charge nécessaire pour faire couler l'eau par les conduits et alimenter la colonne d'eau ascendante reste sensiblement constante, ce qui simplifie beaucoup les formules, surtout les formules différentielles. La grande abondance des puits forés de la ville

de Tours avait permis de faire cette hypothèse, que justifiait, d'ailleurs, l'application du calcul à celui de M. Champoiseau, l'un des plus beaux puits que nous connaissions après ceux de M. le comte de Richemont.

Mais depuis, M. Viollet, ayant observé des puits très-remarquables par leurs produits et les variations qu'ils présentaient, a jugé devoir les soumettre à l'analyse, afin de s'assurer si la constance de la charge perdue ne se réaliserait pas; en conséquence, il a repris la question, et il est parvenu à exprimer, par ses formules, la variabilité de cette quantité (page 54 de son ouvrage).

M. Viollet a donné beaucoup plus d'étendue à l'examen et à la solution de plusieurs points qu'il avait seulement indiqués sommairement dans son second mémoire. Il a étudié la question dans le cas le plus général, en considérant un puits artésien comme un *piézomètre* implanté sur un système de conduites dont les ramifications innombrables, et pour la plupart ouvertes ou mal fermées à leur extrémité, n'auraient aucune espèce de forme géométrique, et pourraient admettre un écoulement souterrain indépendant de celui du puits artésien.

Les cas où cet écoulement existe ou n'existe pas ont naturellement amené M. Viollet à diviser les puits forés en deux catégories comprises dans la même théorie générale.

Après avoir établi les lois du mouvement de l'eau dans un semblable système, l'auteur discute ces lois, puis il en déduit de nombreuses conclusions, et il démontre notamment que l'augmentation du diamètre et l'abaissement de l'orifice du déversement augmentent le produit d'un puits foré, et diminuent les chances

de déperdition et celles de sa ruine; ruine trop souvent inévitable lorsque, pour ne pas s'être préalablement assuré et rendu compte de leur action dynamique usuelle, on veut la forcer inconsidérément, en cherchant à en obtenir, à la plus grande hauteur possible, le maximum de puissance.

M. Viollet fait voir qu'au moyen de deux jaugeages pour des hauteurs extrêmes d'orifice, on peut obtenir par le calcul, avec une approximation très-satisfaisante, les résultats qui se rapportent aux hauteurs intermédiaires.

Il reprend ensuite par ses nouvelles formules la recherche de la hauteur à laquelle il convient de placer l'orifice de déversement pour la production du maximum de travail dynamique.

Enfin il a joint à son ouvrage, 1° un tableau de trente-sept expériences qu'il discute, et auxquelles il applique sa théorie qui en reçoit une entière confirmation; et 2° sept planches gravées pour faciliter la solution des diverses questions qu'il a traitées dans l'application de sa théorie.

Telles sont, messieurs, les principales différences qui existent entre le nouvel ouvrage et les premiers mémoires de M. Viollet. Sur plusieurs points il a fait des augmentations considérables, et il a, en outre, traité plusieurs questions entièrement neuves. Les principales modifications qu'il a faites dans son ouvrage portent particulièrement sur le second et le troisième chapitre de la première partie. Le reste est, à quelques additions près, demeuré tel qu'il était lorsque M. Viollet l'a soumis à l'examen de la Société.

Dans cet état, les mémoires de M. Viollet, ainsi réunis, forment un cours complet de la théorie des

puits forés artésiens, théorie qui présentait de grandes difficultés, dont le premier il a eu l'heureuse idée; théorie qui est fondée sur les résultats de nombreuses expériences, et que M. Viollet a exposée de manière à la rendre indépendante du reste de l'ouvrage, en distinguant, par des astérisques et de petits caractères, les paragraphes qui exigent l'usage du calcul algébrique, mais dont l'étude n'est pas nécessaire pour l'intelligence de la partie usuelle de l'ouvrage.

D'après cet exposé, et en considérant que vous avez décerné à M. Viollet une médaille de platine pour sa théorie des puits forés artésiens, et que dans votre dernière séance générale, en rappelant cette médaille, vous avez déclaré publiquement qu'il se montrait de plus en plus digne de la haute distinction que vous lui aviez accordée, votre comité des arts mécaniques a l'honneur de vous proposer, messieurs, 1° de remercier M. Viollet de l'hommage qu'il vous a fait du premier exemplaire de sa théorie des puits forés, 2° que cet ouvrage soit honorablement mentionné sur le catalogue de votre bibliothèque, et 3° de faire insérer ce rapport dans votre Bulletin.

PREMIER RAPPORT

FAIT A LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

POUR L'INDUSTRIE NATIONALE,

au nom du comité des arts mécaniques,

PAR M. LE VICOMTE HÉRICART DE THURY.

MESSIEURS,

M. Viollet, ingénieur civil, membre de la Société, vous a adressé un mémoire sur les principaux puits artésiens de Tours et des environs. D'après la manière dont il a envisagé les diverses questions qu'il a successivement traitées dans ce mémoire, M. Viollet eût mieux fait de l'intituler : *Théorie de l'observation et de l'application du calcul sur l'action dynamique du produit des puits jaillissants, et sur la hauteur à laquelle il convient de prendre leurs eaux pour utiliser entièrement leur action.*

Le mémoire de M. Viollet est, en effet, une théorie, ou plutôt et mieux, le prodrome d'une théorie toute nouvelle, et jusqu'à présent inaperçue, ou dont personne, avant cet habile ingénieur, n'avait encore parlé. A lui et à M. Sagey, ingénieur des mines du département d'Indre-et-Loire, auquel il dit en devoir la première idée (*), en appartient la priorité, et je me fais même un devoir de déclarer, à cet égard, que depuis plus de

(*) Celle de l'application du calcul à la détermination du point où se trouve le maximum d'action dynamique. (Voyez Ire part., chap. III, n° 37.)

vingt ans que je m'occupe des puits forés, et que j'ai été en relation avec nos meilleurs mécaniciens, pour l'emploi des eaux jaillissantes de ces puits, aucun encore ne m'avait communiqué d'idées théoriques et d'application de calcul sur leur action, et sur leur effet utile, ainsi que l'a fait M. Viollet.

D'autres pourront, avec raison, réclamer la priorité pour l'emploi des eaux jaillissantes des puits forés pour la mise en mouvement d'usines établies dans certains pays jusqu'alors privés de cours d'eau; d'autres revendiqueront l'application de ces eaux sur des roues hydrauliques, à l'effet d'empêcher, au moyen de leur chaleur ou de leur température constante, à l'effet, dis-je, d'empêcher la glace de se former en hiver sur ces roues, et, par suite, de remédier au chômage que les usines étaient forcées de subir pendant la durée des gelées; d'autres réclameront pour le chauffage des ateliers et des serres tempérées, en y faisant circuler, à découvert, les eaux jaillissantes pendant les froids de l'hiver; d'autres, leur emploi pour l'établissement des cressonnières artificielles; d'autres, les irrigations, etc. Mais, je le répète, personne, avant MM. Viollet et Sagey, n'avait songé à appliquer le calcul et les formules algébriques pour constater l'action dynamique des puits artésiens... A eux donc, et particulièrement à M. Viollet, en appartient la première pensée, comme c'est à M. Champoiseau, négociant à Tours, qu'est dû l'honneur d'avoir ouvert, dans ce pays, malgré des risques bien prévus et volontairement acceptés, d'avoir ouvert une nouvelle carrière à l'industrie pour l'emploi des eaux jaillissantes des puits forés.

Grâce à vous, messieurs, à vos prix, à vos encouragements, nos puits forés se propagent de plus en plus : on en fait présentement sur tous les points de la France, on en fait en Angleterre, en Italie, en Allemagne, en Prusse, en Russie, en Asie, en Afrique, en Amérique; on en établit partout; mais je dirai aussi que, dans beaucoup d'endroits, on les tente, on les essaye beaucoup trop légèrement, et souvent avec trop d'empressement, ou un empressement trop peu réfléchi, car enfin il ne faut pas croire que tous les pays présentent également les conditions nécessaires pour obtenir des eaux jaillissantes : non, malheureusement, non; la constitution physique de certains pays, la nature de leurs pierres ou de leurs roches, leur manière d'être, les soulèvements, les bouleversements, les ruptures, les dislocations que leurs bancs ont éprouvés depuis leur formation, enfin une foule de causes sur lesquelles je ne puis ici m'arrêter, et sur lesquelles je reviendrai ailleurs, parce qu'il nous importe de les bien étudier, et qu'il est essentiel de les bien connaître avant d'entreprendre un puits foré, doivent, dans beaucoup de pays, en défendre ou en interdire l'essai.

Mais tel n'est pas le département d'Indre-et-Loire, où M. Viollet a conçu sa théorie des puits forés, puisque chaque essai y est couronné de succès, et que leurs succès sont d'autant plus remarquables que les quantités d'eau obtenues successivement dans chaque puits ont toujours été en augmentant lors de leur forage.

Au reste, ce n'est pas tout que de sonder, de percer la terre et de forer des puits artésiens, pour obtenir des eaux jaillissantes; là n'est pas la plus grande difficulté.

On peut, quand le terrain est favorable, quand il présente les conditions nécessaires, on peut facilement ramener au jour et faire surgir à la surface de la terre des nappes d'eaux souterraines; la grande difficulté est de maintenir et de conserver intégralement la source jaillissante, sans que jamais sa puissance, son action, son effet et la quantité d'eau diminuent : telle est la véritable difficulté, tel est le plus grand écueil que l'art du sondeur artésien puisse rencontrer. Aussi, dans mes divers rapports sur les principaux puits forés dont j'ai eu connaissance, ai-je toujours particulièrement appuyé sur la nécessité de les tuber, avec le plus grand soin, dans toute leur profondeur, les sondeurs ne devant jamais s'en rapporter à la compacité apparente ou présumée des terrains traversés. En effet, les terrains qui paraissent les plus compactes présentent fréquemment des fissures et des lézardes nombreuses, ou des cavités, ou des couches de sable et de graviers, dont on ne peut reconnaître, dans le sondage, le véritable état et le plus ou moins de perméabilité. Les eaux souterraines, en remontant, s'y infiltrent d'abord d'une manière insensible; mais, si cette infiltration continue, elle va bientôt en croissant, elle ouvre, elle élargit rapidement les issues, d'abord étroites ou insensibles; puis les eaux se répandent dans ces terrains; elles s'y pratiquent un passage, et tôt ou tard elles finissent par s'y perdre entièrement.

J'ai souvent cité des exemples de beaux puits forés, qui avaient fait l'admiration de toute une contrée, qui avaient causé un enthousiasme général, et même un tel enthousiasme que, ne doutant pas qu'il n'y eût sous le pays une mer souterraine toute prête à surgir aussitôt

que la terre serait percée, tout le monde voulait faire des puits forés, au point que les sondeurs ne pouvaient suffire aux demandes qui arrivaient de toutes parts, mais aussi dont l'enthousiasme tomba : l'admiration cessa presque aussi promptement quand on vit les eaux jaillissantes de ces puits rapidement diminuer, et bientôt même cesser de surgir entièrement, et cela, faute de soins et de précautions dans le tubage de ces puits. J'ai même rapporté un exemple, peut-être encore plus frappant, celui d'un puits foré dont les eaux, aussi abondantes qu'impétueuses, après avoir inondé le jardin d'un propriétaire, qui ne voulait, disait-il, avoir qu'une petite rivière et un lac à l'anglaise, mais dont les eaux, dans leur fougue torrentueuse, ne connaissant aucune digue, aucun frein capables de les arrêter, renversèrent tous les murs mitoyens, et inondèrent même le quartier, au point que le propriétaire, ne pouvant les maintenir, fut condamné à faire un aqueduc souterrain pour se débarrasser de l'excédant de sa rivière et prévenir de nouveaux accidents; mais son aqueduc n'était pas encore terminé, qu'il eut la douleur de voir ses cascades successivement s'affaiblir, sa rivière diminuer et bientôt même cesser de couler, parce que son puits n'avait pas été tubé dans toute sa hauteur, et que, par une économie mal entendue, il avait, en outre, fait la faute d'employer des tubes de fer-blanc qui, promptement détruits, laissèrent les eaux jaillissantes se perdre dans les terrains sableux et perméables traversés dans le forage.

Dans sa lettre d'envoi, M. Viollet dit que, chargé d'appliquer la force motrice d'un puits foré à une usine, il crut devoir étudier d'abord les divers puits forés de

Tours, afin de bien constater la puissance de l'eau dont il pouvait disposer, et de s'assurer si cette puissance était constante; mais que de fréquents jaugeages l'ont bientôt convaincu d'un décroissement progressif, qu'il a attribué à ce que ces puits n'avaient pas été tubés dans toute leur étendue; que, par suite, ils éprouvaient des filtrations considérables, et, par suite encore, un décroissement graduel, qui n'avait pas été aperçu d'abord, parce que les puits forés pour l'administration municipale de Tours rendent leurs eaux à différentes fontaines publiques, au moyen de conduites souterraines.

C'est en étudiant ainsi la puissance des puits artésiens de Tours, et en répétant successivement leur jaugeage, que M. Viollet conçut les premiers principes de sa théorie, dont l'application lui parut douteuse et incertaine, quand il eut constaté la diminution progressive de leur puissance, mais sur le succès de laquelle il se rassura cependant, lorsqu'il eut la certitude que les puits artésiens conservaient constamment leur puissance dans toute son intégralité, lorsqu'ils étaient tubés dans toute leur hauteur, avec les soins et les précautions nécessaires.

L'examen du mémoire de M. Viollet m'ayant amené à parler du décroissement des eaux des puits forés, par suite du défaut de tubage, je crois devoir le suspendre un moment, et je ne doute pas que l'on ne me sache gré d'entrer ici dans quelques développements sur le tubage de ces puits, l'une des plus importantes opérations de l'art du sondeur, puisque le succès de ces puits dépend en effet, généralement, de la manière dont on fait le tubage.

On se sert, pour tuber les puits forés, de tuyaux de

bois, de fonte, de fer, de tôle, de fer-blanc, de zinc ou de cuivre (*). . . . .

. . . .

Mais je reviens au mémoire de M. Viollet, dont je me suis un peu trop écarté en traitant la question du tubage des puits forés, question dans laquelle il m'a lui-même entraîné.

M. Champoiseau, d'après les succès obtenus à Tours par M. Degousée, lui fit faire un puits foré, dans l'intention d'appliquer la puissance de la source jaillissante qu'il pourrait en obtenir au mouvement d'une usine à soie.

Ce puits, percé à 135 mètres de profondeur, est dans les mêmes terrains que les autres puits déjà forés à Tours ou dans les environs; il a donné, lors de son percement, à 6 mètres de hauteur au-dessus du sol, 1,100 litres d'eau à la minute, ou 66,000 litres par heure : ainsi 1,584,000 litres, autrement 1,584 mètres cubes par vingt-quatre heures; mais cette puissance, par un décroissement progressif assez rapide, se réduisit bientôt de plus de moitié.

Ayant compté sur une puissance de 1,500 mètres cubes, au moins, par vingt-quatre heures, M. Viollet avait construit une roue de fer, du poids de 5,000 kil. environ, compris les hérissons, de 6 mètres de diamètre et d'un mètre de largeur totale avec l'épaisseur des jantes.

(*) Nous omettons ici des détails sur le tubage des puits artésiens, M. le vicomte Héricart de Thury ayant rappelé ces détails avec plus d'étendue dans son second rapport (voyez ci-après).

Cette roue devait donner quatre tours et demi par minute, correspondant à une vitesse de 1m,300 environ.

Son effet théorique était de 108k.m., et devait se réduire à 75k.m..

La diminution de la puissance de ce puits détermina M. Champoiseau à entreprendre la réparation de son tubage; opération difficile et même bien plus difficile que celle du tubage.

Nous cherchons, écrivait à cet égard M. Viollet, nous cherchons à réparer ce puits, qui est menacé d'une extinction totale; mais nous sommes surtout gênés par 31 mètres de tuyaux bien bétonnés qui le terminent et nous empêchent de le forer de nouveau sur un plus grand diamètre : sans cet obstacle, nous l'eussions ouvert davantage, nous y eussions descendu des tuyaux jusqu'aux plaquettes de grès, de dessous lesquelles jaillissent les eaux ascendantes, et nous eussions coulé un béton hydraulique, après avoir pourvu à ce qu'il ne pénétrât pas dans le puits; mais nous sommes obligés de passer par des tubes de 0m,14 de diamètre, de réduire l'orifice à 0m,08 et d'essayer de bétonner entre les deux tuyaux et entre les terres ravinées qui forment le reste de la conduite. Nous croyons bien avoir déjà résolu la plupart des difficultés d'exécution, mais cette solution n'est cependant que spéculative. Aussi M. Viollet fit-il un appel à tous ceux qui se sont occupés de travaux de ce genre, en les priant de vouloir bien lui communiquer des moyens certains et éprouvés d'assujettir, soit par du béton, soit par tout autre procédé, les tuyaux, de manière à prévenir les infiltrations, et de contribuer ainsi à conserver,

sans forer un nouveau puits, une entreprise qui mérite l'intérêt, non-seulement comme une opération industrielle, mais encore comme un essai tenté avec dévouement par le propriétaire, dans le but d'être utile aux arts et aux sciences.

Dans un premier essai fait pour la réparation de ce puits, M. Viollet employa un tube de 4 mètres de longueur, garni, à son extrémité inférieure, d'un cuir embouti semblable à celui des presses hydrauliques, pensant que le cuir ne se développerait que dans l'ouverture du banc de grès de dessous lequel jaillit la première source ascendante, et que, par conséquent, il forcerait toute l'eau à passer dans le nouveau tube.

Ce premier essai, tout informe, tout incomplet qu'il était, donna un résultat si satisfaisant sur le jeu du cuir embouti, que je ne doute pas de sa complète réussite, lorsqu'on prendra tous les moyens propres à en assurer le succès : c'est une heureuse application d'un procédé déjà employé dans diverses branches d'industrie avec le plus grand succès, et il convient d'autant mieux dans le tubage des puits forés, que c'est un moyen simple, peu dispendieux, d'une facile exécution, enfin qu'on peut toujours avoir à sa disposition ; mais je dois cependant faire observer que, s'il peut réussir dans les puits forés de Tours, il ne conviendra pas également dans tous les puits forés; car enfin son emploi suppose que la dernière couche traversée par la sonde, celle qui recouvre les eaux jaillissantes, est un banc dur et pierreux, circonstance qui ne se retrouve pas partout, puisque, le plus fréquemment, les eaux jaillissantes sont recouvertes par des glaises ou argiles quelquefois compactes, mais

souvent coulantes et susceptibles d'être promptement délayées et entraînées par les eaux dans leur surgissement.

Au reste, dit M. Viollet, quand le passage de l'eau sera interrompu entre l'ancien et le nouveau tube, et que nous n'aurons plus à craindre l'affouillement du béton hydraulique avant sa prise ou consolidation, nous nous proposons de bétonner, s'il est nécessaire; je dis s'il est nécessaire, parce que, si le cuir suffit (la charge qu'il supportera paraît devoir être moindre que deux atmosphères), nous ne nous exposerons pas aux chances d'un bétonnage qui pourrait être mal fait, et qui ne nous permettrait plus de retirer nos tuyaux pour remplacer notre cuir, lorsque ce cuir serait détérioré et ne tiendrait plus l'eau; peut-être aussi nous servirons-nous de caoutchouc, qui serait moins sujet et moins prompt à s'altérer.

Ainsi qu'il l'a annoncé, M. Viollet a examiné, dans son mémoire, 1° l'application de l'observation et du calcul aux produits des puits artésiens, 2° leur action dynamique et la hauteur à laquelle il convient de prendre l'eau pour obtenir cette action tout entière, et 3° l'emploi qu'on a fait, jusqu'à présent, des puits forés en Touraine.

Ainsi, dans le premier paragraphe, il expose d'abord les différentes situations dans lesquelles se sont probablement trouvées les eaux jaillissantes, après le forage de quatre puits forés de Tours, qu'il prend pour exemple: 1° celui de M. Champoiseau, 2° celui du quartier de cavalerie, 3° celui de M. Tessier, et 4° celui de M. Le Comte-Petit; puis il en détermine la charge au-dessus

de la Loire, au pont de Tours, et au-dessus du sol à l'ouverture de chaque puits, autrement la plus grande hauteur à laquelle on peut élever l'eau, en la soutenant successivement dans des tuyaux, jusqu'à ce qu'elle cesse de s'élever, et qu'elle se maintienne à cette hauteur qui représente le niveau d'où elle est partie. Il désigne cette charge sous le nom de charge *fictive*, ne pouvant, dit-il, la considérer comme la charge *réelle*; les produits de ces puits étant influencés, soit par les irrégularités du sondage non tubé, soit par la résistance qu'éprouvent les eaux en passant dans les interstices des terrains, soit par les pertes souterraines qui peuvent avoir lieu, soit enfin par le refoulement des sources moins profondes qui, repoussées dans leur rencontre par les eaux ascendantes, leur opposent à la fois une certaine résistance, et des débouchés qui en absorbent une partie; toutes causes d'erreur qui empêchent le calcul de donner avec certitude la charge réelle, et ne permettent de donner que la charge fictive, c'est-à-dire celle qui, dans un système ordinaire de conduite, donnerait le volume d'eau fourni par le puits. Pour ne pas interrompre son texte par des formules algébriques, M. Viollet a rejeté, à la suite de son mémoire, dans des notes relatives à chaque expérience, tous ces calculs et leurs développements.

Dans son second paragraphe, après avoir déterminé la hauteur à laquelle il convient d'élever l'eau pour obtenir le maximum d'effet dynamique, il détermine le degré de puissance des puits de MM. Champoiseau, Tessier et Le Comte-Petit, employés à mouvoir des roues hydrauliques.

C'est à M. Sagey, ingénieur des mines du départe-

ment d'Indre-et-Loire, qu'il est redevable, dit-il, de l'idée d'appliquer le calcul à cette question, qu'il avait d'abord résolue par l'expérience directe, lors de la construction de l'usine de M. Champoiseau ; et tout en reconnaissant que, dans une semblable question, sujette à autant de chances d'irrégularité, on ne doit pas se contenter de formules et de chiffres, il n'en conclut pas moins que les résultats du calcul permettent de prévoir ceux de l'observation, et de donner des aperçus très-propres à diriger les expériences, et même à y suppléer d'une manière assez satisfaisante, lorsqu'elles sont impossibles.

Dans son troisième paragraphe, M. Viollet dit que l'emploi le plus avantageux qui ait été fait jusqu'à présent de ces puits, en Touraine, est dans la distribution d'une eau abondante et pure, bien précieuse pour la ville de Tours, qui en manquait, et qui en est aujourd'hui largement pourvue ; que les casernes, les abattoirs, les hospices, etc., participent à cette conquête de l'industrie sur la nature ; que plusieurs usines emploient avec le plus grand succès l'action dynamique des sources jaillissantes de ces puits, et que bientôt, dans toute la Touraine, d'après l'exemple de M. le comte Desbassayns de Richemont, qui vient de faire forer un puits artésien par l'ingénieur Mulot, dans sa terre de Cangé, et qui lui en fait percer un second pour l'irrigation de ses prairies, bientôt toute la Touraine emploiera les sources jaillissantes de ces puits avec le plus grand succès dans l'intérêt de l'agriculture.

A la suite d'un résumé très-succinct, dans lequel il rappelle en peu de mots sa théorie, M. Viollet émet le

vœu que des expériences nombreuses et bien coordonnées soient faites à Tours, où tous les puits artésiens qui y ont été forés ont si bien réussi, afin de compléter, d'éclaircir et de confirmer ce que nous savons sur ces puits ; mais, comme ces expériences ne sont pas praticables dans des entreprises particulières, dont les propriétaires, malgré tout leur zèle, ne peuvent se soumettre aux interruptions et aux dépenses qu'exigerait une série de recherches de précision, il pense que le gouvernement devrait profiter d'un des premiers puits qui seraient faits à Tours, dans un établissement public, pour ordonner des expériences et inviter l'Académie royale des sciences à prescrire ou déterminer la forme ou la marche à suivre dans ces expériences.

Enfin le mémoire de M. Viollet est terminé par des notes dans lesquelles il a développé ses calculs et ses formules algébriques.

Dans sa dernière note, au sujet de la dimiuution de plusieurs beaux puits artésiens de Tours, qui ne donnent plus aujourd'hui que le cinquième ou même le quart de la quantité d'eau qu'ils donnaient primitivement, il fait sentir la nécessité d'un tubage solide et complet dans toute la profondeur des puits forés, pour ne pas compromettre, par une économie mal entendue et plus mal calculée, la durée du succès de ces puits, et il donne pour exemple d'un excellent tubage celui que j'ai déjà indiqué plus haut, et que M. Degousée a fait faire à l'abattoir de Tours, en tubes de cuivre de 0^{m}, 003, descendus jusque sur la plaquette de grès vert, de dessous laquelle jaillit la première source ascendante. Les détails dans lesquels il entre sur ce puits sont d'un très-grand intérêt:

sa parfaite verticalité a été constatée après son épuisement, au moyen d'une lumière descendue à 90 mètres de profondeur, et qui ne s'y est éteinte que par l'effet du gaz acide carbonique dégagé par sa combustion.

Conclusions. Par l'analyse que je viens d'avoir l'honneur de vous présenter, vous avez dû juger et apprécier, messieurs, le mémoire de M. Viollet et les principes sur lesquels repose sa théorie des puits artésiens. Aussi, et d'après les témoignages d'intérêt, d'après les encouragements que vous avez accordés à notre belle et importante industrie des puits forés, qui vous doit en grande partie ses succès, aurai-je l'honneur de vous proposer, au nom de votre Comité des arts mécaniques, 1° de remercier M. Viollet de la communication qu'il a bien voulu vous donner de son mémoire ;

2° De le faire insérer dans votre Bulletin avec le présent rapport, en l'autorisant à en faire faire un tirage à part ;

Et 3° de demander à M. le ministre du commerce et de l'agriculture, dans l'intérêt de notre industrie, en lui communiquant ce rapport, de profiter du forage des premiers puits artésiens qui seront faits dans nos établissements publics, soit à Paris, soit à Elbeuf, soit à Tours, soit dans toute autre ville, pour faire faire, par l'Académie royale des sciences, des expériences propres à compléter, éclaircir et confirmer ce que nous savons de ces puits, de leur puissance et des variations qu'elle éprouve.

Fait à Paris, le 16 mai 1836.

SECOND RAPPORT

FAIT A LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

POUR L'INDUSTRIE NATIONALE,

au nom du comité des arts mécaniques,

PAR M. LE VICOMTE HÉRICART DE THURY.

MESSIEURS,

Dans le rapport que nous avons eu l'honneur de vous présenter, le 16 mai 1836, sur le mémoire que M. Viollet, ingénieur civil, vous avait adressé *sur l'application de l'observation et du calcul à l'action dynamique des puits artésiens, et sur la hauteur à laquelle il convient de prendre l'eau pour utiliser cette action tout entière*, nous vous disions que le mémoire de M. Viollet était une théorie toute nouvelle et jusqu'alors inaperçue de l'application du calcul sur l'action et l'effet des puits artésiens, et dans nos conclusions, qui furent adoptées par le Conseil d'administration, nous vous proposâmes de faire insérer dans le *Bulletin* le mémoire de M. Viollet et le rapport de votre commission.

Les considérations que nous avions présentées dans ce rapport sur les inconvénients qui résultent du défaut de l'entier tubage des puits forés et sur la nécessité de les tuber dans toute leur profondeur avaient, dans l'intérêt de l'industrie des puits forés, décidé la Société royale et centrale d'agriculture à faire imprimer, dans le cahier d'août 1836 de ses annales, ce rapport dont elle nous demanda la communication.

Par suite de cette impression, votre commission du

Bulletin ne jugea pas convenable de faire imprimer ce rapport : elle se borna à l'insertion du mémoire de M. Viollet, qui a paru dans le n° d'avril 1837. Instruit des conclusions du rapport, cet ingénieur vous a adressé, le 29 juillet dernier, une réclamation, *attendu*, vous disait-il avec raison, *que la simple insertion de son mémoire, sans le rapport que vous aviez adopté, laissait ignorer le jugement que vous en aviez porté, et qu'ainsi il était privé du témoignage public de votre satisfaction, ce qui ne serait pas arrivé si le rapport de votre commission avait paru avec son mémoire.*

Depuis sa réclamation, à laquelle il n'a pas été fait droit, M. Viollet s'est livré à de nouvelles recherches sur l'application de l'observation et du calcul à l'action dynamique des puits artésiens, et, par suite de ses nouvelles observations, il vous a adressé un mémoire sur la théorie de ces puits, *un puits foré étant*, dit-il, *parfaitement comparable à un système de conduite, formant une espèce de siphon renversé dont une partie serait régulière et dont l'autre, n'offrant aucune espèce de forme régulière, serait même sujette à des fuites.*

A son mémoire, que vous nous avez chargé d'examiner et dont nous allons avoir l'honneur de vous rendre compte, M. Viollet a joint un dessin dont les deux premières figures sont destinées à la démonstration de ses principes et de ses formules. La figure 3 est une coupe géologique du bassin de la Loire et de ses affluents. Cette carte est extraite des observations géologiques publiées en 1836 sur la Touraine, par M. Dujardin; elle présente l'application de la théorie de M. Viollet à l'action dynamique d'un puits foré.

Son mémoire est divisé en sept paragraphes suivis d'un résumé, dans lequel M. Viollet a rappelé sommairement ses principes, que nous allons examiner.

Dans le premier paragraphe, il donne, d'après le traité d'hydraulique de M. d'Aubuisson de Voisins, ingénieur en chef au corps royal des mines, les formules relatives au mouvement de l'eau dans les puits artésiens, et après avoir successivement établi et déduit l'une de l'autre ses formules, 1° d'après leur charge réelle, 2° la charge fictive, 3° le niveau de l'orifice du puits foré, 4° la surface du sol environnant, 5° le niveau de la nappe d'eau d'infiltration, qui alimente les puits du pays, et 6° le fond du puits artésien, il passe à l'application de ces formules et de leurs principes.

Dans le paragraphe second, M. Viollet examine les conditions sous lesquelles se fait l'écoulement de l'eau fournie par un puits artésien. Ainsi, dit-il, si la quantité d'eau déversée est petite par rapport à celle que peuvent amener les sources, les différentes hauteurs auxquelles on placera l'orifice, et par conséquent les différentes dépenses qui en résulteront, auront une influence nulle ou à peu près nulle sur la vitesse de l'eau dans les conduites souterraines; et toutes les formules que M. Viollet a données dans son premier mémoire, tant sur le produit des puits que sur la hauteur à laquelle il convient de prendre leurs eaux pour en obtenir le maximum de travail dynamique, seront applicables; mais si, au contraire, la quantité d'eau fournie par le puits est considérable, relativement à celle qui peut être donnée par la nappe d'eau souterraine ou par ses ramifications, on verra se dérouler une série de phénomènes tout opposés;

alors la vitesse variera sensiblement dans les canaux alimentaires et rendra variable la valeur de cette vitesse, comme le prouve l'application de ces principes aux beaux puits forés de l'abattoir de Tours et de M. Lecomte-Petit, à la Ville-aux-Dames, dont le fond aboutit évidemment sur les îlots de graviers et de galets des sables verts qui séparent la masse de craie du calcaire jurassique.

Dans le paragraphe troisième, M. Viollet examine une question que font également et généralement toutes les personnes opposées aux puits artésiens et celles qui en font forer, de *savoir si l'épuisement des nappes d'eaux jaillissantes ou artésiennes est possible*, question importante et à laquelle, dit-il, on ne peut faire d'autre réponse que *oui* et *non;* mais dont la solution dépend, suivant nous, entièrement de la nature ou de la constitution physique du pays, de la manière d'être du terrain dans lequel se trouvent les conduits souterrains des nappes d'eaux jaillissantes, de l'origine de celles-ci, enfin des localités inférieures ou plus basses, dans lesquelles on viendrait à établir des puits forés alimentés par les mêmes nappes d'eau souterraine.

Le paragraphe quatrième est consacré à l'examen d'une question non moins grave et non moins importante que la précédente, celle *de la diminution des eaux des puits artésiens*, diminution qui ne peut le plus souvent être attribuée rationnellement ni aux ensablements, ni aux obstructions des tubes, ni même enfin à l'établissement des puits forés voisins, ce qui est cependant quelquefois arrivé; mais bien aux défauts, aux vices, aux inconvénients des tubages mal faits, mal assujettis, ou trop peu profonds, ainsi que nous l'avions dit dans notre

rapport sur le premier mémoire de M. Viollet. Nous y avions même appuyé particulièrement sur la condition de l'entier tubage des puits forés que nous considérons comme essentielle pour leur conservation; la diminution et même l'épuisement ou la cessation totale du jaillissement des eaux à la surface de la terre étant dus le plus souvent aux déperditions souterraines qu'elles éprouvent en remontant en dehors ou derrière et le long des tubes dans les terrains perméables, la perméabilité de ces terrains allant toujours croissant une fois que les eaux jaillissantes sont parvenues à s'y infiltrer. De là résulte la nécessité d'asseoir solidement les tubes pour intercepter toute communication entre le fond et les couches supérieures, et de prolonger ces tubes jusqu'à la profondeur où les sources qu'on rencontre sont soumises à une pression supérieure, ou du moins égale à celle qui résulte de la charge réelle; et l'on voit encore que, sans un parfait et entier tubage, on ne sera jamais en sûreté, les terrains qui présentent l'aspect le plus compacte, l'apparence la plus ferme et la plus homogène étant, ainsi que nous l'avons démontré, souvent remplis de fissures, de fentes, de lézardes, et même quelquefois de cavernes plus ou moins profondes.

M. Viollet a examiné, dans le paragraphe cinquième, les chances possibles pour obtenir des eaux jaillissantes dans le forage des puits artésiens. A cet égard, il dit avec raison que, dans tous les pays où il n'y a pas encore eu de puits forés, on ne peut établir sur la possibilité du succès que des présomptions, d'après la constitution géologique ou la hauteur du sol; quant aux pays où il existe, à peu de distance, des puits forés, on peut acquérir sinon

une certitude entière, au moins une forte probabilité des chances de succès, d'après la hauteur à laquelle on peut élever l'orifice des puits les plus voisins, en comparant cette hauteur à celle du sol où l'on voudrait forer.

L'étude de la constitution physique du pays est et sera toujours, suivant nous, le moyen le plus sûr pour répondre aux demandes si fréquentes que l'on fait sur le degré de chances de succès des puits forés; c'est d'après elle que nous répondons journellement à toutes les demandes qui nous sont adressées; mais nous rappellerons à ce sujet que l'indice le plus certain et le plus exact, ou la présomption la mieux fondée du succès, est l'existence des sources qui surgissent de gouffres ou d'entonnoirs dans le fond de quelques vallées, ces sources étant de véritables puits jaillissants naturels.

Convient-il de conserver toutes les sources qu'on a pu rencontrer dans le forage d'un puits artésien? tel est le motif du sixième paragraphe. M. Viollet y démontre que la plupart des sources que l'on rencontre avant d'avoir atteint la profondeur à laquelle doit être descendu un puits foré pour en obtenir le plus grand succès étant autant de débouchés ou de causes de déperdition par la perméabilité des terrains qui les recèlent, il est préférable, il est même essentiel de s'en garantir et de les éviter par un tubage parfait, en ne conservant que les sources importantes et communément les plus profondes.

Dans le paragraphe septième, M. Viollet s'est livré à l'examen d'une question que font encore bien fréquemment les propriétaires de puits forés pour lesquels ils ont

fait de grands sacrifices lorsque des voisins, d'après leur succès et leur exemple, en veulent également faire établir chez eux : nous voulons parler de l'influence des puits forés voisins les uns sur les autres, influence qui varie selon les circonstances et la résistance des terrains; influence d'abord insensible, mais qui est inévitable et qui s'établit bientôt avec une sorte de solidarité, une fois qu'il y a communication dans la même nappe d'eau. M. Viollet a démontré, par l'exemple de divers puits forés à Tours, par M. l'ingénieur Degousée, auquel vous avez décerné plusieurs médailles, le rapport ou l'influence qui s'établit entre les puits forés dans les mêmes terrains et à la même profondeur.

Nous devons cependant faire observer que, si cette influence a généralement lieu en Touraine, elle est quelquefois absolument nulle dans d'autres pays, et que le succès d'un puits foré ne garantit même pas toujours celui d'un puits qu'on voudrait percer dans une propriété voisine, et qu'ainsi, par exemple, on a vu établir deux puits artésiens avec un plein succès à 100 mètres de profondeur dans un jardin; tandis que, dans l'héritage voisin et qui n'était séparé du premier que par un mur mitoyen, un forage a été poursuivi jusqu'à plus de 120 mètres de profondeur sans obtenir aucune source jaillissante, malgré le peu de distance des deux forages; mais le dernier, hâtons-nous de le dire, présentait, dès la profondeur de 80 mètres, des terrains d'une nature toute différente.

Observations.

Avant de parler du résumé de M. Viollet et de vous

présenter, messieurs, nos conclusions, nous croyons nécessaire de reproduire ici quelques observations de notre premier rapport; ayant, dans l'intérêt des sondeurs et des propriétaires qui font faire des puits forés, particulièrement décrit dans ce rapport le tubage de ces puits, condition essentielle pour assurer la pleine et entière conservation des eaux jaillissantes obtenues au moment de leur forage.

Ce n'est pas tout, disions-nous, que de sonder, de percer la terre, de forer des puits artésiens pour obtenir des eaux jaillissantes; là n'est pas la plus grande difficulté. On peut, quand le terrain est favorable, quand il présente les conditions nécessaires, facilement ramener au jour et faire surgir, à la surface de la terre, des nappes d'eau souterraines; témoin cet excellent curé des Alleuds, prés d'Angers, M. l'abbé Rouault, qui, désespéré de voir ses paroissiens manquer d'eau tous les ans, se servit, dans son dénûment, de la simple tarière à moyeux du charron de son village; et, à l'instar de Bernard de Palissy, perça la terre des Alleuds avec un tel succès, qu'il en fit jaillir sept ou huit sources abondantes au moyen desquelles la commune des Alleuds serait, à l'avenir, une des mieux arrosées de France si ces puits avaient été tubés avec soin.

La grande difficulté est de maintenir et de conserver intégralement les sources jaillissantes, sans que jamais leur puissance, leur activité, leur effet et leur volume ou leur quantité d'eau diminuent.

Telle est la véritable difficulté, tel est le plus grand écueil que l'art du soudeur artésien puisse rencontrer. Aussi, dans tous nos rapports sur les puits forés, avons-

nous constamment appuyé sur la nécessité de tuber ces puits avec le plus grand soin dans toute leur profondeur, les sondeurs ne devant jamais s'en rapporter à la compacité apparente ou présumée des terrains traversés ; les terrains qui paraissent les plus compactes présentant fréquemment, ainsi que nous l'avons dit ci-dessus, des fissures, des fentes et des lézardes nombreuses, ou enfin des couches de sable et de gravier, dont on ne peut souvent reconnaître dans le sondage le véritable état et le plus ou moins de perméabilité. Les eaux souterraines, en remontant, s'y infiltrent d'abord d'une manière insensible; puis, si cette infiltration continue, elle ouvre, elle élargit rapidement les issues qui, auparavant, étaient inappréciables : bientôt les eaux se répandent dans ces terrains, elles s'y pratiquent un passage, et tôt ou tard elles finissent par s'y perdre entièrement.

C'est ainsi que nous avons cité des exemples de beaux puits forés qui avaient fait l'admiration de toute une contrée, qui y avaient causé un enthousiasme général, et même un tel enthousiasme que, ne doutant pas qu'il n'y eût, sous le pays, une mer souterraine toute prête à surgir aussitôt que la terre serait percée, tout le monde voulait faire des puits forés, au point que les sondeurs ne pouvaient suffire aux demandes; mais dont aussi l'enthousiasme tomba promptement, quand on vit les eaux jaillissantes de ces puits bientôt diminuer et même quelques-uns cesser de surgir, et cela faute de soins et de précautions nécessaires dans le tubage.

Nous avons même rapporté, à ce sujet, un exemple frappant qui mérite d'être souvent rappelé, celui d'un grand puits foré dont les eaux, aussi abondantes qu'im-

pétueuses, après avoir inondé le jardin du propriétaire qui voulait, disait-il, faire une rivière et un lac à l'anglaise, renversèrent tous les murs mitoyens et inondèrent même le pays; au point que ce propriétaire, ne pouvant les maitriser et les contenir, fut condamné à faire un aqueduc souterrain pour se débarrasser de l'excédant de sa rivière ou de son torrent, afin de prévenir les accidents qui semblaient menacer le pays. Mais l'aqueduc n'était pas encore terminé, que ce propriétaire eut la douleur de voir ses cascades successivement s'affaiblir, sa rivière diminuer et bientôt cesser de couler, parce que son puits n'avait pas été tubé dans toute sa profondeur, et que même, par une économie mal entendue, il avait fait la faute d'employer des tubes de fer-blanc, qui, promptement détruits, laissèrent les eaux jaillissantes se perdre dans les terrains sableux et perméables, où elles occasionnèrent, par suite, de grands affouillements souterrains qui, plus tard, se manifestèrent à la surface de la terre par des fontis et des enfoncements, autre danger ou inconvénient inévitable des puits forés mal construits.

Tout Paris a visité, dans le temps, les deux puits de la gare de Saint-Ouen. Il n'était bruit que de leurs belles eaux jaillissantes, et ces beaux puits sont aujourd'hui à sec par suite du défaut de tubage, ou d'un tubage incomplet et fait avec trop d'économie et de précipitation.

Celui de la poste aux chevaux de Saint-Denis a fait l'admiration de tous les voyageurs et de tous les étrangers; il se distinguait particulièrement par son énorme volume d'eau provenant de la réunion des sources de plusieurs niveaux différents, et il y a lieu de présumer que c'est précisément cette réunion des sources et le

défaut de tubage pour éviter leurs communications, qui ont été cause de la diminution rapide et progressive de ce puits artésien, l'un des plus remarquables de tous ceux qui ont été faits aux environs de Paris.

Parmi les beaux puits forés de Tours dont quelques-uns donnaient jusqu'à 1,300 litres d'eau et même plus à la minute, plusieurs ont diminué de moitié ; quelques-uns même ont entièrement cessé de surgir, faute d'un entier tubage, ou parce qu'on s'est servi de tubes de tôle, qui ont été promptement détruits. Les seuls puits jaillissants de Tours qui se soient conservés et maintenus intégralement sont ceux qui ont été tubés en cuivre dans toute leur hauteur ou profondeur.

Pour tuber les puits forés, on se sert de tuyaux ou de buses de bois, de fonte, de fer, de tôle, de fer étamé, de fer blanc, de zinc, de cuivre, etc.

1° Les tuyaux de bois sont en usage dans les puits peu profonds ou qui n'excèdent pas 40 à 50 mètres. Dans l'Artois, il existe des puits forés à une époque très-reculée, sur l'âge desquels on n'a aucune donnée certaine, qui ont été tubés en bois et au tubage desquels il n'y a jamais eu aucune réparation à faire ; si ce n'est à la buse supérieure, celle du jour, que l'on change tous les vingt à vingt-cinq ans et souvent moins. Ces tubes sont faits comme les tuyaux de bois de nos pompes et fontaines de campagne, en aune, orme, chêne et autres bois. Le bois d'aune est généralement préféré ; il est plus facile à forer, il est moins cher et se conserve aussi longtemps. On fore ces tuyaux sur un banc horizontal, avec une tarière mise en mouvement, soit par une manivelle à bras, soit par un manége à cheval, soit enfin par

une roue hydraulique. On donne à ces tuyaux de 0m,10 à 0m,20 de diamètre. Leur longueur est celle des arbres ou plutôt des troncs qu'on peut obtenir sans défauts. L'assemblage de ces tuyaux se fait à l'aide de frettes, les tuyaux entrant l'un dans l'autre par emboîtement.

2° Les tubes de fonte de fer sont employés par différents sondeurs, de préférence aux tuyaux de bois, et cependant ils présentent de graves inconvénients, suivant la nature des terrains et les gaz ou principes que contiennent les eaux ; ainsi très-souvent ils colorent l'eau, inconvénient majeur pour un grand nombre d'industries ; ils sont d'ailleurs sujets à se décomposer plus ou moins promptement, suivant la qualité de la fonte et la nature des terrains.

Ces tuyaux s'assemblent par emboîtement mâle et femelle avec soudure brasée, ou avec le mastic de fontainier ; on leur donne 0m,10, 0m,20 et même 0m,30 de diamètre. Outre les inconvénients que nous venons de signaler, ils ont encore celui de s'écraser quelquefois, lorsqu'en cas d'obstacles dans leur descente on veut les enfoncer à coups de mouton. Quoi qu'il en soit, on emploie souvent les tuyaux de fonte dans le tubage des puits forés ; mais il est essentiel de les bien éprouver et de s'assurer de la qualité de la fonte avant de les mettre en œuvre, et nous ne doutons point qu'on ne finisse par y renoncer entièrement.

3° Les tuyaux de tôle de fer et de fer battu résistent mieux que les tuyaux de fonte. On ne doit se servir que de grosse tôle battue de 0m,005 à 0m,006 d'épaisseur, et non de tôle laminée, qui est plus belle, il est vrai, mais qui s'altère et s'oxyde beaucoup plus promptement. Ces

tuyaux s'assemblent par soudure brasée, ou par emboîtement mécanique, avec boulons à vis, et à tête perdue dans l'épaisseur; on leur donne 0m,10, 0m,15 et 0m,20 de diamètre; ils sont employés avec le plus grand succès lorsqu'on prend de la tôle de première qualité. Quelques personnes ont fait étamer ces tuyaux pour prévenir leur oxydation et la coloration des eaux : cette précaution est très-bonne, nous ne pouvons que l'approuver et même la recommander; mais elle demande beaucoup de soins et d'attention pour l'étamage des assemblages et de toutes leurs parties, même des vis mâles et femelles. Enfin il est important de ne pas prendre, par économie, de la tôle trop mince, parce qu'elle ne peut résister, qu'elle se décompose promptement, et qu'une fois percés, les tuyaux laissent les eaux ascendantes se perdre dans les terrains perméables.

4° Les tuyaux de fer-blanc ont été employés en Angleterre, dans des percements ou forages d'exploration de terrain, comme tuyaux de retenue et même quelquefois comme tuyaux d'ascension; mais on en a promptement reconnu les inconvénients à cause de leur faiblesse et de leur facile altération. On ne devrait jamais s'en servir dans les puits forés, ou, au plus, comme moyen provisoire, à défaut et en attendant les tuyaux qui doivent être placés définitivement; encore est-il préférable d'employer des tuyaux de grosse tôle et conseillons-nous même la tôle étamée, en ayant soin de donner un sur-étamage aux assemblages et emboîtements afin de couvrir entièrement la tôle qui est communément mise à découvert dans ces parties. Ces tuyaux, lorsqu'ils reçoivent un double étamage, sont bons et

peuvent durer plusieurs années; on leur donne de 0m,10 à 0m,15, 0m,20 et 0m,25 de diamètre.

On a récemment proposé d'employer des tuyaux de tôle étamée galvanisés. Cet étamage pourra être bon et bien supérieur à l'étamage ordinaire; nous sommes même porté à le penser, mais nous ne saurions cependant affirmer l'efficacité de cet étamage galvanisé comme l'unique préservatif des tubes des puits forés, tant que l'expérience n'aura pas prononcé.

5° Les tuyaux de zinc ont été employés dans quelques puits forés à 0m,10 et 0m,20 de diamètre, de préférence à la tôle étamée, à raison de l'économie qu'ils présentent. L'expérience n'a pas encore prononcé sur leur durée : dans quelques terres ils paraissent résister, tandis que, dans quelques autres, ils s'altèrent promptement, certaines terres paraissant avoir une action puissante sur le zinc, qui s'y oxyde rapidement. On ne doit donc se servir de ces tuyaux que comme moyen provisoire; encore leur préférerions-nous les tuyaux de forte tôle étamée.

6° Les tuyaux de cuivre ne sont pas aussi dispendieux que beaucoup de personnes sont disposées à le penser; ils sont d'ailleurs inattaquables; on les emploie avec succès pour les puits forés des fontaines publiques et des grandes usines. Ainsi, à Saint-Denis, à Tours, à Elbeuf, etc., quelques puits forés ont été tubés en cuivre. On prend, pour ces tubes, du cuivre de 0m,002 à 0m,003 au plus d'épaisseur; la dépense est bien compensée par les avantages que présente l'inaltérabilité de ce métal, une fois que sa surface s'est bronzée ou *patinée*, comme disent les fontainiers-soudeurs.

En général, nous pensons que les tuyaux de bois

d'aune, d'orme ou de chêne peuvent être employés avec succès dans les puits forés qui n'ont pas plus de 50 à 60 mètres de profondeur, mais qu'il convient de donner la préférence aux tuyaux de cuivre lorsque les puits excèdent cette profondeur, ou qu'à raison de la nature du terrain on a de grandes difficultés à craindre dans l'enfoncement des tuyaux de bois.

Les prix des tuyaux varient suivant la matière : ainsi, 1° en fonte, ils coûtent, suivant leur diamètre et leur épaisseur, 12, 14 et 15 fr. le mètre courant;

2° En tôle ou fer forgé, 2 fr. le kilogramme, ou 18 fr. le mètre courant;

Et 3° en cuivre rouge, de 4 à 4 fr. 50 c. le kilogr., ou de 25 à 28 fr. le mètre, suivant l'épaisseur.

Un puits tubé en cuivre, avec les soins et les précautions nécessaires, n'exige jamais aucune réparation, aucuns frais d'entretien.

Enfin, quant aux précautions à prendre dans la pose des tuyaux, les plus essentielles, celles que nous recommandons le plus particulièrement aux sondeurs, sont : 1° de descendre les tubes d'ascension ou de remontage des eaux jusqu'au dernier banc dur et imperméable qui recouvre la couche aquifère, de laquelle surgissent les eaux jaillissantes ; et 2° de couler derrière les tubes d'ascension, soit entre eux et les terres, soit entre eux et les tubes de retenue, un béton de chaux hydraulique nouvelle et de première qualité qu'on foule fortement et même jusqu'à refus. Un des meilleurs exemples de tubage ainsi exécuté et qui doit être cité comme modèle est celui que M. *Degousée* a fait faire dans le puits foré par ses soins, dans l'abattoir de la ville de Tours.

Souvent consulté sur le tubage des puits forés, nous avons cru, dans l'intérêt des sondeurs et des propriétaires, devoir entrer dans ces détails, qui ne se trouvent encore daus aucun ouvrage; ils serviront à compléter le manuel du fontainier sondeur. Nous pensons donc qu'à raison de leur importance pour la conservation des eaux jaillissantes que l'on n'obtient souvent qu'à grands frais, vous excuserez la longueur de ces détails et observations, qui trouveront, au reste, de promptes et fréquentes applications, et qui préviendront, nous n'en doutons pas, la perte de plus d'un puits foré.

Dans son résumé, après avoir particulièrement appuyé sur l'indispensable nécessité d'apporter le plus grand soin dans le tubage des puits forés, M. Viollet dit : 1° que, lorsqu'un puits est achevé, on doit, par des jaugeages exacts et réitérés, constater son produit près du sol et à différentes hauteurs pour connaître le volume d'eau disponible à diverses élévations, et en conclure l'action ou le travail dynamique à toutes ces élévations, afin de déterminer le point qui convient au maximum, soit par le calcul, soit, et ce qui est plus simple et suffisamment exact, en traçant une courbe dont les différentes hauteurs des orifices sont les abscisses, et dont les quantités de travail correspondantes sont les ordonnées;

2° Que le jaugeage du puits plusieurs fois répété, après des intervalles un peu considérables, donne le moyen de reconnaître s'il y a diminution, afin d'aviser promptement aux moyens d'y remédier;

3° Qu'il convient d'examiner avec soin si des forages voisins ne seraient pas dans la possibilité de nuire au puits artésien établi, l'emploi d'orifices moins élevés ou des

forages vicieux par des sondeurs inexpérimentés pouvant le ruiner entièrement;

4° Enfin, et vu le défaut de législation à cet égard, qu'il serait indispensable de soumettre les sources artésiennes aux règlements concernant les cours d'eau et d'exiger des propriétaires qui se proposent d'en faire la recherche certaines conditions qui tourneraient, en définitive, à leur avantage en leur assurant la libre jouissance du fruit de leurs travaux et de leurs dépenses.

Conclusions.

C'est aux encouragements que vous avez annuellement distribués depuis la publication de l'ouvrage de M. Garnier, que la belle industrie des puits forés, encore dans l'enfance il y a peu d'années, doit les immenses développements qu'elle a pris si rapidement. Vous avez beaucoup fait pour nos sondeurs; tous ont répondu à votre appel, et chaque jour nous apprenons de nouveaux et brillants succès.

Nous ne pouvons penser que vous fassiez moins pour celui qui, le premier, a eu l'heureuse idée de faire une théorie des puits forés, et d'appliquer l'observation et le calcul à leur action dynamique.

Dans cette persuasion, nous avons l'honneur de vous proposer, messieurs, 1° d'adresser le rapport de votre Commission à M. le ministre des travaux publics, du commerce et de l'agriculture, en lui représentant la *nécessité d'une législation* sur l'industrie des puits forés;

2° De faire insérer ce rapport et le mémoire de M. Viollet dans votre *Bulletin*;

Et 3° de faire examiner par votre Commission des médailles s'il n'y aurait pas lieu à accorder à cet ingénieur un témoignage particulier de votre satisfaction pour la théorie des puits forés qu'il vous a présentée, cette théorie devant faire faire à cette industrie de nouveaux et rapides progrès.

Signé HÉRICART DE THURY, *rapporteur*.

Approuvé en séance, le 6 décembre 1837.

TROISIÈME RAPPORT

FAIT A LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

POUR L'INDUSTRIE NATIONALE,

au nom du comité des arts mécaniques,

sur les travaux de M. Viollet;

PAR M. LE VICOMTE HÉRICART DE THURY,

dans la séance générale du 27 juin 1838.

Messieurs, il y a peu d'années encore que, dans l'intérêt de l'agriculture et des arts industriels et manufacturiers, vous avez publié un programme pour le meilleur manuel du fontainier-sondeur artésien, et que vous avez décerné votre grand prix à M. Garnier, ingénieur en chef des mines, pour son manuel.

Depuis, vous avez, chaque année, décerné des prix et des médailles aux sondeurs qui ont établi avec succès des puits artésiens dans les pays où il n'en existait pas encore.

Dirigés par la géologie, à laquelle ils ont senti la nécessité de s'appliquer, nos sondeurs n'entreprennent plus aujourd'hui aucun puits qu'avec une pleine certitude de succès, et nous les voyons de toutes parts faire jaillir des eaux pures, limpides et abondantes dans des contrées naguère frappées de sécheresse et de stérilité; ainsi donc votre but a été atteint.

Cependant il restait encore une question importante à traiter, celle de l'application du calcul sur l'action dynamique du produit des puits jaillissants et sur la hauteur à laquelle il convient de prendre les eaux pour utiliser entièrement leur action.

M. Viollet, ingénieur-hydraulicien, profitant des beaux

puits forés à Tours par MM. Degousée et Mulot, s'est attaché à résoudre cet important problème; et, dans une série de mémoires qu'il vous a présentés, cet habile ingénieur a successivement traité: 1° l'application de l'observation et du calcul au produit des puits artésiens;

2° Leur action dynamique et la hauteur à laquelle il convient de prendre l'eau pour utiliser cette action tout entière;

3° La question de la diminution et de l'épuisement des eaux des puits artésiens;

4° L'emploi des eaux de ces puits pour les besoins de l'agriculture, et particulièrement pour les irrigations;

5° Leur usage dans l'alimentation des fontaines et des lavoirs publics;

6° La mise en mouvement des usines par les puits jaillissants;

Enfin, et à la suite de ses mémoires, M. Viollet a présenté quelques considérations de la plus haute importance, sur la nécessité d'une législation spéciale sur l'industrie des puits forés.

Sur le rapport de son comité des arts mécaniques, le conseil d'administration de la Société d'encouragement a décidé: 1° que les mémoires de M. Viollet seraient adressés à M. le ministre des travaux publics; et 2° qu'une médaille de platine serait décernée à M. Viollet, ingénieur-hydraulicien à Paris, pour sa théorie de l'observation et de l'application du calcul sur l'action dynamique du produit des puits jaillissants, et sur la hauteur à laquelle il convient de prendre les eaux pour utiliser entièrement leur action.

Signé HÉRICART DE THURY, *rapporteur*.

Approuvé en séance générale, le 27 *juin* 1838.

QUATRIÈME RAPPORT

FAIT A LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

POUR L'INDUSTRIE NATIONALE,

au nom du comité des arts mécaniques,

PAR M. LE VICOMTE HÉRICART DE THURY,

sur l'ouvrage de M. Viollet,

CONCERNANT LA THÉORIE DES PUITS ARTÉSIENS.

Messieurs,

Les deux mémoires sur les sources artésiennes, présentés par M. Viollet à la Société d'encouragement, contiennent une théorie entièrement nouvelle du mouvement et du jaillissement de l'eau, dans ces sources si précieuses pour l'agriculture et l'industrie. Après avoir établi, au moyen des principes de l'analyse et de l'hydraulique, les formules relatives à la circulation des eaux des puits forés, au produit en volume et au travail dynamique de ces puits, l'auteur compare ses formules avec les données qu'il a recueillies dans de nombreuses expériences.

L'accord des unes et des autres confirme de nouveau la théorie de M. Viollet, théorie qui, déduite de la discussion des questions les plus importantes sur les puits artésiens, et des moyens propres à assurer la conservation des eaux de ces puits, ou à faire réaliser le maximum de leur puissance dynamique, a déjà reçu l'approbation de la Société d'encouragement, lorsque, pour lui témoigner sa satisfaction, elle a décerné, à M. Viollet,

une médaille de platine, dans sa séance générale du 27 juin 1838, et adressé à M. le ministre du commerce et des travaux publics ses deux mémoires et les rapports dont ils ont été l'objet.

Vivement stimulé par des suffrages aussi honorables, l'auteur s'est regardé comme obligé de joindre aux recherches qui composent ses premiers mémoires une instruction pratique sur l'utilisation des puits artésiens dans l'agriculture et dans les arts.

Telle est, messieurs, l'origine ou le motif du nouveau travail qu'il vous a présenté, travail tout différent des deux premiers mémoires qui y sont intercalés, et qui en composent seulement deux chapitres.

Nous allons essayer de vous rendre compte de cet important travail dont nous eussions certainement mieux fait de vous donner lecture pour vous le bien faire juger et apprécier.

L'ouvrage de M. Viollet est divisé en deux parties.

La première partie est consacrée à l'exposition de la théorie qui sert de point de départ pour les applications.

Dans le chapitre Ier, l'auteur prie le lecteur de se reporter aux ouvrages qui ont été publiés par M. le vicomte Héricart de Thury et par M. F. Garnier. Il discute ensuite les causes et les conditions du surgissement de l'eau ; il passe en revue les hypothèses qui ont été avancées à cet égard, et il en écarte plusieurs qui ne sont que spécieuses ; il adopte celle des deux auteurs que nous venons de nommer, hypothèse qui consiste à regarder les puits artésiens comme des espèces de siphons renversés, et qui est complétement démontrée par les lois de

l'hydraulique et par les résultats de toutes les expériences.

Il cite les intermittences remarquables de quelques puits, intermittences qui lui ont été signalées par M. le vicomte Héricart de Thury. Il rappelle les progrès faits par l'art des sondages depuis une vingtaine d'années, et rend ces progrès sensibles par la citation des produits des puits artésiens de la ville de Tours et de ses environs. Ce chapitre est terminé par une description sommaire des procédés de construction et par un tableau des couches géologiques perforées par la sonde lors de l'ouverture de deux des puits de la Touraine.

Les chapitres II et III sont composés des deux mémoires que la Société d'encouragement a récompensés d'une médaille de platine. Ces chapitres établissent les principes de la théorie : ils servent de fondement à tout le reste de l'ouvrage.

Depuis qu'il vous a présenté ces mémoires, M. Viollet a pu traiter avec plus de généralité des causes des diminutions trop souvent remarquées dans les produits des puits forés; et il donne, à ce sujet, une note d'un grand intérêt sur la réparation d'un des puits artésiens de la ville de Tours; réparation entreprise par M. Mulot, et qui, quoique non terminée, a donné un résultat (3,315 litres par minute au sol) de beaucoup supérieur au produit primitif du puits.

La seconde partie, consacrée aux applications de la théorie exposée dans la première et à la pratique de l'utilisation des puits artésiens, est, dans le corps de l'ouvrage, entièrement dégagée de formules algébriques. Pour mettre à la portée des personnes qui n'ont pas l'habitude des considérations analytiques la lecture de son

livre, M. Viollet s'est astreint, dans cette seconde partie, à l'observation de la méthode qu'il a suivie dans la première. Il a donc rejeté dans les notes toutes les formules, il a traduit en langage ordinaire, et éclairci par des exemples, les calculs, d'ailleurs fort simples, qui se trouvent exposés dans le texte.

De cette manière, il a composé un ouvrage dans lequel tout ce qui concerne la pratique est réellement mis à la portée des personnes étrangères aux mathématiques; ainsi ces personnes peuvent omettre la lecture des formules.

C'est pour rendre plus facile l'omission de cette lecture que l'auteur commence sa seconde partie par résumer, sans aucun mélange d'algèbre, les conséquences de la théorie qu'il a exposée précédemment. A cet effet, il examine, dans le chapitre Ier, les probabilités du succès d'un puits artésien, les conditions de ce succès, les réflexions à faire sur le mode de construction, sur le tubage et sur l'exécution matérielle du sondage. Il traite ensuite des qualités que peuvent posséder les eaux des sources artésiennes, et donne des détails nombreux sur les usages auxquels sont applicables celles de ces eaux qui renferment des substances minérales.

Après cet exposé, il traite des prévisions sur le volume d'eau espéré, et, par la comparaison des résultats connus, il fait voir que, jusqu'à présent, aucun indice certain, pas même le succès obtenu dans le voisinage d'un puits projeté, ne peut donner de certitude à cet égard. Il démontre néanmoins que l'on peut influer avantageusement sur la quantité de l'eau, en augmentant le plus possible le diamètre du puits. Enfin il fait remarquer,

en comparant les uns aux autres les chiffres relatifs aux nombreux sondages exécutés à Tours, que, malgré les inégalités des produits, ces produits, considérés en général, ont suivi, depuis plusieurs années, une progression rapidement et considérablement ascendante.

Le tubage, condition essentielle de la conservation des puits forés, est le motif d'observations de l'auteur qui, comme on le pense bien, recommande de faire le tubage complet et parfait. A la suite de cet article, est une discussion importante sur les avantages respectifs de l'emploi de l'argile et du béton, pour le remplissage des vides compris entre les tubes et les parois du trou pratiqué par la sonde.

L'élévation à laquelle il est possible de faire parvenir les eaux obtenues a particulièrement fixé l'attention de M. Viollet, et il fait voir, à cet égard, combien il importe de restreindre cette élévation, lorsque les circonstances le permettent.

Il discute ensuite les causes de la diminution du produit des puits artésiens; il fait voir que cette diminution est presque toujours la suite d'un défaut de précaution dans la construction du puits; et, après avoir démontré aux propriétaires combien ils auraient tort de compromettre leur succès, en imposant à l'ingénieur une fausse économie, il fait remarquer que certains puits artésiens sont souvent influencés par le voisinage d'autres puits semblables, et doivent, à ce rapprochement, la diminution de leurs eaux; d'où il conclut que, jusqu'à ce que des règlements administratifs viennent remédier à ce danger, la possibilité d'un sondage voisin devra être prise en considération par tout propriétaire qui se proposera de

faire construire un puits artésien. Il termine ce chapitre en faisant remarquer que le produit total n'est pas proportionnel au nombre des puits que l'on peut forer les uns à côté des autres, et en faisant voir les erreurs dans lesquelles on pourrait tomber à ce sujet.

Dans le chapitre II, l'auteur traite des différents moyens de jauger le produit lorsqu'il est obtenu : après avoir fait sentir combien il importe, dans cette opération, d'attendre l'établissement du régime, il décrit, avec tous les détails nécessaires pour l'exécution pratique, la méthode de jaugeage par les pouces de fontainier ; celle qui consiste dans l'emploi d'un orifice rectangulaire pratiqué dans une mince paroi formant déversoir ; celle dans laquelle on recourt à l'observation de la section du canal de fuite et de la vitesse moyenne du fluide dans ce canal ; enfin la méthode du jaugeage par empotement, à laquelle il donne la préférence, comme à la plus exacte de toutes.

Les calculs relatifs à ces opérations, la formation des tableaux des produits fournis à différentes hauteurs, l'interpolation des résultats, sont successivement l'objet d'explications tout à fait élémentaires et pratiques.

Le sujet du chapitre III est la mesure et le calcul de la puissance dynamique des puits artésiens.

L'auteur fait voir d'abord que le tableau des valeurs de la puissance dynamique d'un puits artésien, à différentes hauteurs, peut se déduire des tableaux de jaugeage qu'il a donné le moyen de former dans le chapitre précédent. Il indique la manière d'interpoler graphiquement les nombres fournis par le calcul, pour déterminer le maximum de la puissance dynamique, et la réduc-

tion qu'il convient de faire sur ce résultat théorique.

Le chapitre IV, destiné à servir d'introduction et de préparation aux chapitres suivants, renferme des conditions générales sur les usages des puits artésiens. L'auteur discute, en premier lieu, l'importance des services que ces puits peuvent rendre à l'agriculture et à l'horticulture : il fait voir que, si les sources artésiennes ne présentent des avantages bien marqués pour l'irrigation des prés que lorsque les frais de construction ne sont point élevés et que le volume obtenu est considérable, ces sources peuvent encore, dans des circonstances moins heureuses, rendre des services inappréciables pour la culture des parterres et des potagers.

Passant à ce qui concerne la distribution de l'eau dans les villes et dans les habitations, l'auteur établit, par des calculs, qu'un puits artésien, même peu abondant, suffirait pour alimenter une ville ordinaire, et qu'un puits aussi riche que ceux qui ont été obtenus à Tours pourrait fournir à la consommation d'une ville populeuse.

M. Viollet traite ensuite la question de l'élévation de l'eau des puits artésiens par des moyens mécaniques, pour le service des propriétés rurales situées sur des coteaux; puis il énumère et discute les usages que peut faire de leurs eaux l'industrie manufacturière.

Dans le chapitre V, il développe les principes qui doivent diriger l'application des puits artésiens à l'irrigation des prés, lorsque les circonstances permettent de les consacrer à cet usage. Il commence par faire voir que l'irrigation par submersion totale, telle qu'on la pratique lorsque l'on peut faire refluer toute une rivière, ne serait pas praticable dans ce cas, parce qu'elle fait toujours

perdre, sans effet utile, une grande quantité d'eau. Il recommande donc la méthode qui économise le plus le fluide, c'est-à-dire celle où l'eau est conduite dans toute l'étendue du pré, par de nombreuses rigoles au-dessus des berges desquelles elle se déverse en débordant. De là il passe aux mesures qui doivent être prises pour le nivellement, pour le tracé, l'ouverture et l'entretien de ces rigoles; il discute la place à laquelle doit être établi le réservoir, la quantité de terrain que l'on pourra arroser avec un volume d'eau. Il expose les moyens pratiques qu'il est utile d'employer dans l'exécution d'un système d'irrigation. Il traite de la vitesse qu'il est convenable de laisser prendre au fluide et, dans une note fort étendue et isolée du texte, il établit des relations algébriques entre la vitesse, la section et la pente des rigoles, et donne les formules qui conviennent à la section rectangulaire et à la section trapézoïdale. La discussion de ces formules l'amène à remarquer l'existence d'une équation de condition, et à indiquer les moyens de sortir de l'embarras où peut jeter, dans certains cas, la difficulté de satisfaire à cette équation. Cette discussion est terminée par un exemple numérique destiné à en faciliter l'application.

M. Viollet indique ensuite un procédé simple et facile pour tracer les rigoles, selon la pente déterminée par le calcul, et donne une évaluation des pertes de liquide qui sont dues aux filtrations et à l'évaporation. Il expose les moyens pratiques de l'exécution des barrages, des rigoles, des digues, et les dimensions qu'il convient de leur donner. Il insiste sur les précautions à prendre, pour gazonner les ouvrages de terrassement et en empêcher

la ruine, pendant les inondations qui submergent si souvent les prairies.

Après avoir décrit dans toutes ses parties le mode d'irrigation qu'il préfère, l'auteur indique une méthode différente qu'il a vu pratiquer et qui peut rendre des services dans quelques circonstances. Cette méthode consiste à partager la prairie, au moyen de digues, en plusieurs compartiments, dans chacun desquels on introduit successivement l'eau fournie par le puits artésien.

Ce chapitre est terminé par l'exposition des principes agronomiques les plus usuels sur l'irrigation des prés.

Dans le chapitre VI, l'auteur s'est occupé de l'usage des puits forés pour l'alimentation des lavoirs ; et, après avoir fait observer combien les sources artésiennes présentent d'avantages sur les fontaines, souvent si pauvres, qui desservent les bassins des blanchisseuses des environs de Paris, il cite une application de ce genre faite par M. Champoiseau, dans un quartier populeux de la ville de Tours. Il décrit la construction d'un lavoir public. La détermination des dimensions les plus convenables le conduit à une question intéressante de minimum, qu'il traite dans une note séparée, et dont le calcul différentiel lui donne immédiatement la solution.

Le chapitre VII est relatif à l'usage des puits artésiens comme moteurs. L'auteur, après avoir signalé les dangers des illusions que l'on se fait trop souvent sur leur puissance, examine les circonstances où ces puits peuvent rendre des services réels et lucratifs. Ainsi, en supposant que l'on ait déterminé, par les principes exposés dans les chapitres précédents, la valeur de la puissance dynamique à son maximum, il donne des détails utiles

sur le choix du récepteur qu'il convient d'employer. Il décrit celui qu'il a construit, pour la mise en mouvement de l'usine de M. Champoiseau, à Tours, et fait connaître un moyen qui lui a été communiqué par M. le vicomte Héricart de Thury, pour réaliser, dans plusieurs circonstances, une chute qui semblait d'abord ne pas exister.

Il termine ce chapitre par l'examen des avantages et des inconvénients du bélier hydraulique, pour l'élévation des eaux des puits artésiens, dans les circonstances où le niveau du point auquel on doit rendre ces eaux surpasse celui qu'elles peuvent naturellement atteindre.

Enfin, dans le chapitre VIII et dernier, l'auteur résume les conséquences les plus importantes de ce qu'il a exposé; il rappelle tout l'élan que l'industrie des puits artésiens a reçu des sociétés savantes et des hommes qui se sont mis à la tête de ses progrès : il prédit à l'art des sondages un avenir aussi honorable pour ceux qui l'ont fait sortir de l'oubli qu'utile à la richesse et à la prospérité de la France.

Résume.

Telle est, messieurs, la théorie des puits artésiens de M. Viollet; tel est l'ouvrage dont il vous demande la permission de faire hommage à la Société d'encouragement, en témoignage de sa reconnaissance pour l'accueil qu'elle a fait à ses premiers essais. Cet ouvrage, dont nous désirons vous avoir fait apprécier l'importance, dans cette analyse trop succincte et trop rapide, compose un volume manuscrit grand in 4°, de plus de deux cents pages, accompagné de sept planches qui contien-

nent tous les détails nécessaires à l'intelligence du texte. On y trouve notamment les dessins relatifs à la circulation des eaux souterraines ; un plan visuel de la situation des puits artésiens de la ville de Tours et de ses environs; les figures qui concernent les différentes méthodes de jaugeage, celles qui ont trait à l'irrigation des prés et à la construction des rigoles ou des autres ouvrages; la description d'un lavoir public; enfin celle du récepteur hydraulique de l'usine de M. Champoiseau de Tours.

Conclusions.

D'après ce que nous venons d'avoir l'honneur de vous exposer, messieurs, vu le haut degré d'intérêt que présente l'ouvrage de M. Viollet, pour l'industrie des puits forés, sous les divers rapports de l'hygiène, du service des fontaines publiques et des besoins de l'agriculture, des arts et des manufactures,

Votre Comité des arts mécaniques croit devoir vous proposer :

1° De remercier M. Viollet de l'hommage qu'il vous a fait de sa théorie des puits artésiens, et de l'autoriser à la publier avec le présent rapport, qui sera adressé à M. le ministre du commerce et de l'agriculture;

Et 2° de faire examiner, par votre commission des médailles, s'il n'y a pas lieu à lui accorder un nouveau témoignage de satisfaction et d'encouragement de la Société.

Signé HÉRICART DE THURY, *rapporteur*.

Approuvé en séance, le 8 *mai* 1839.

CINQUIÈME RAPPORT

FAIT A LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

POUR L'INDUSTRIE NATIONALE,

au nom du comité des arts mécaniques,

PAR M. LE VICOMTE HÉRICART DE THURY,

sur la théorie des puits artésiens de M. Viollet.

MESSIEURS,

M. Viollet, ingénieur-hydraulicien, a fait hommage, à la Société, d'un *Traité des sources artésiennes*, dans lequel il a exposé une théorie nouvelle du mouvement et du jaillissement de l'eau dans ces sources si précieuses pour l'agriculture et l'industrie. Son ouvrage est divisé en deux parties : la première est consacrée à l'exposition des principes de la théorie, et la seconde à leur application à la pratique ou à l'utilisation des puits artésiens; mais, pour mettre son livre à la portée des personnes qui n'ont pas l'habitude des considérations analytiques, M. Viollet, dans cette seconde partie, s'est astreint, en rejetant dans les notes toutes les formules, à traduire en langage ordinaire et à éclaircir par des exemples les calculs, d'ailleurs fort simples, qui sont exposés dans le texte. De cette manière, il a composé un ouvrage pratique, réellement mis à la portée des personnes étrangères aux mathématiques. Ainsi, après avoir résumé, sans mélange d'algèbre, les conséquences de sa théorie,

M. Viollet examine successivement les probabilités et les conditions du succès des puits forés; leur tubage, l'élévation à laquelle il convient de faire parvenir leurs eaux; les causes de la diminution de leur produit; les moyens de jauger la quantité d'eau obtenue; la puissance dynamique de ces puits; les usages auxquels ils peuvent être appliqués en agriculture et dans l'industrie; leurs emplois pour les irrigations, l'alimentation des fontaines et des lavoirs publics; leur application comme moteurs; les avantages ou les inconvénients du bélier hydraulique pour l'élévation des eaux jaillissantes, dans les circonstances où le niveau du point auquel on doit rendre ces eaux surpasse celui qu'elles peuvent naturellement atteindre: enfin, et en résumant les conséquences les plus importantes de sa théorie, M. Viollet rappelle l'élan que l'industrie des puits artésiens a reçu des Sociétés d'agriculture et d'encouragement, et il termine en prédisant à l'art des sondages un avenir aussi honorable pour ceux qui l'ont fait sortir de l'oubli qu'utile à la richesse et à la prospérité de la France.

Telle est, en peu de mots, messieurs, la théorie des puits artésiens de M. Viollet; tel est l'ouvrage dont il a fait hommage à la Société, comme un témoignage de sa reconnaissance pour l'accueil qu'elle a fait à ses premiers essais. Cet ouvrage compose un volume manuscrit grand in-4° de plus de deux cents pages, accompagné de sept planches qui contiennent tous les détails nécessaires à l'intelligence du texte.

Messieurs, votre conseil d'administration, sur le compte rendu analytique de la théorie des puits artésiens, que nous avons eu l'honneur de lui présenter, au nom

de votre comité des arts mécaniques, vous a proposé, et vous avez décidé :

1° Que M. Viollet serait déclaré, en séance générale de la Société, se montrer de plus en plus digne de la haute distinction que vous lui avez accordée, en lui décernant, le 27 juin 1838, votre grande médaille de platine, pour ses premiers mémoires sur les sources jaillissantes des puits forés;

2° Qu'il serait remercié, par M. le président, de l'hommage qu'il a fait de son ouvrage à la Société;

3° Qu'il serait autorisé à imprimer le rapport du comité des arts mécaniques en tête de son Traité;

Et 4° que ce rapport serait adressé à M. le ministre du commerce et de l'agriculture, et inséré dans le *Bulletin* de la Société.

Signé HÉRICART DE THURY, *rapporteur.*

Approuvé en séance générale, le 5 *juin* 1839.

SOCIÉTÉ ROYALE

ET

CENTRALE D'AGRICULTURE.

Paris, le 9 décembre 1839.

Monsieur,

Vous avez bien voulu faire hommage à la Société royale et centrale d'agriculture de l'ouvrage que vous venez de publier sous le titre de *Théorie des puits artésiens*, etc.

La Société, après avoir entendu le témoignage favorable qui lui a été rendu de votre ouvrage par quelques-uns de ses membres qui avaient eu déjà l'occasion d'en apprécier le mérite, a fait déposer honorablement, dans sa bibliothèque, l'exemplaire que vous lui avez destiné ; j'en ai moi-même commencé la lecture avec un grand intérêt qui se soutiendra, je n'en doute pas, jusqu'à la fin.

Je suis chargé par la Société et je m'empresse de vous adresser ses remercîments de cet envoi.

J'ai l'honneur d'être, avec les sentiments de considération la plus distinguée, etc.

Le secrétaire perpétuel de la Société,
Signé baron DE SILVESTRE.

A M. Viollet, ingénieur civil hydraulicien.



THÉORIE

DES

PUITS ARTÉSIENS.



PREMIÈRE PARTIE.

CHAPITRE PREMIER.

Notions préliminaires.

1. Bien que l'ouvrage que nous publions ait principalement pour objet la théorie des puits forés et les moyens pratiques de les utiliser, nous ne pouvons nous dispenser de donner d'abord quelques détails sur les conditions de l'existence de ces puits, et sur les procédés suivis pour en amener les eaux à la surface de la terre.

Nous prendrons en cela pour guides les excellents ouvrages qui ont été publiés par M. le vicomte Héricart de Thury (*), par M. Arago (**),

(*) Considérations géologiques et physiques sur la cause du jaillissement des puits forés, ou fontaines artificielles, et recherches sur l'origine ou l'invention de la sonde, l'état de l'art du fontainier-sondeur, et le degré de probabilité du succès des puits forés; par M. le vicomte Héricart de Thury, membre de l'Académie royale des sciences, inspecteur général au corps royal des Mines, etc., etc. Seconde édition. Paris, 1829.

(**) Notice sur les puits forés (*Annuaire du bureau des longitudes pour* 1835, page 181.)

et par M. F. Garnier (*). Nous prions nos lecteurs de se reporter à ces ouvrages pour trouver des développements plus étendus.

2. Personne n'ignore que la construction d'un puits artésien, réduite à sa plus simple expression, consiste dans la perforation des terrains jusqu'à la profondeur nécessaire pour rencontrer une source dont les eaux s'élèvent au-dessus du sol, s'il est possible, ou du moins se maintiennent en contre-bas, à une hauteur telle qu'on les puise avec facilité. On emploie, dans ce dernier cas, soit une machine hydraulique, si la quantité demandée est considérable, soit tout autre moyen que l'on juge convenable.

L'ascension de l'eau ne pouvant s'effectuer que par une action supérieure et opposée à celle de la pesanteur, on a recherché et présenté sous différents points de vue la cause de cette action : un auteur a pensé la trouver dans une tendance générale de tous les êtres à l'expansion ; d'autres personnes l'ont confondue avec la puissance qui fait sourdre certaines fontaines d'eaux minérales ; plusieurs, enfin, ont cru la voir dans un affaissement du sol dont les couches, pressant de tout leur poids la nappe souterraine où le sondage vient aboutir, forcent, disent-elles, les eaux de s'élever, comme celles d'une pompe foulante sous l'impulsion du piston.

3. Nous ne nous arrêterons pas à discuter la

(*) Traité sur les puits artésiens, ou sur les différentes espèces de terrains dans lesquels on doit rechercher des eaux souterraines ; par M. F. Garnier, ingénieur au corps royal des Mines, seconde édition. Paris, 1826.

première hypothèse, qui ne soutient pas le moindre examen, lorsqu'on la compare aux lois de la physique et de la mécanique. Nous rejetterons la seconde, en faisant observer que la puissance qui élève les eaux des sources minérales chaudes n'est autre que celle du calorique. Cet agent détermine, ou l'ébullition de l'eau dans les cavités souterraines, ou le dégagement d'une partie des gaz que contient ce liquide, et fait ainsi naître à sa surface une pression qui est bien assurément, dans ce cas, la cause de son ascension; mais cette pression n'existe pas dans les puits artésiens ordinaires, dont les eaux sont tempérées et ne contiennent d'autres gaz que la très-petite quantité d'oxygène et d'azote qui se rencontre en dissolution dans toutes les eaux salubres et aérées.

4. Nous insisterons davantage sur la troisième hypothèse, parce qu'elle est assez spécieuse, et qu'elle devrait inspirer de véritables alarmes, si l'on avait à craindre qu'elle ne se réalisât. Il serait effectivement très-dangereux d'ouvrir une issue à des eaux qui, en s'échappant, laisseraient sans appui les cavernes dont leur résistance à la compression soutenait auparavant les parois. Il en résulterait des affaissements du terrain ou plutôt des abîmes où s'engloutiraient avec leurs demeures les imprudents qui les auraient creusés.

Heureusement ce danger n'est qu'imaginaire; et, pour rassurer par des faits ceux dont les craintes résisteraient aux raisonnements par lesquels nous allons combattre cette explication de l'ascension des eaux souterraines, nous ferons observer d'a-

bord que, si cette explication était fondée, les propriétés où des puits artésiens ont été forés à une époque un peu éloignée seraient devenues depuis longtemps le théâtre de catastrophes déplorables (*).

5. Il est facile de comprendre, au contraire, que les eaux alimentaires des puits forés se glissent à travers les pierrailles et les graviers qui séparent les différentes formations géologiques. (On appelle ainsi les couches de terres, de sables ou d'autres matières qui se sont superposées en lits pendant les bouleversements nombreux dont l'enveloppe extérieure de notre globe porte des traces si remarquables et si frappantes.) Ces eaux ne soutiennent rien ; elles circulent entre les couches compactes qui se trouvent au-dessus et au-dessous d'elles, et qui s'opposent à tout épanchement, si ce n'est dans les sens latéraux. Les figures 1 et 3, planche Ire, donnent une idée de cette disposition des terrains, disposition qui varie, sans doute, selon la constitution géologique locale, mais qui, dans tous les cas, présente, quant à la production des phénomènes,

(*) Quoique je ne possède pas de mesures précises sur l'étendue de la ville de Tours, je puis donner, d'après son plan que j'ai sous les yeux, la surface renfermée dans son enceinte, comme atteignant à peine 2,000,000 de mèt. carrés. En supposant que les puits artésiens qui y ont été forés ne produisent ensemble aujourd'hui, à cause des diminutions qu'ils ont subies, que 3,000 litres d'eau ou 3 mètres cubes par minute, on trouve que la dépression moyenne annuelle serait, dans l'hypothèse que nous discutons, de $3 \times 365 \times 24 \times 60$ mètres cubes, ou de 1,576,800 mètres cubes. Ainsi la ville aurait dû s'affaisser, tous les ans, de 0m.78 environ, et serait aujourd'hui renversée.

des circonstances analogues. Toujours un réservoir *supérieur*, souterrain ou superficiel, comme un lac, une rivière, alimente la nappe d'eau qui s'infiltre entre deux couches compactes (*); toujours cette nappe s'écoule ou peut s'écouler latéralement, mais l'imperméabilité des couches entre lesquelles elle se trouve resserrée l'empêche de s'élever ou de descendre verticalement.

Une sonde vient-elle à perforer la couche supérieure, l'obstacle qui retenait l'eau captive se trouve supprimé; et, si le réservoir est plus élevé que le sol sur lequel le puits artésien est ouvert, la tendance que les liquides ont à se mettre de niveau occasionne aussitôt un mouvement ascensionnel dans le tube : ce mouvement, en vertu des lois de l'hydraulique, ne s'arrête que quand la pression exercée en O, fig. 1, par la colonne d'eau qui a pénétré dans le sondage, devient, au moyen de l'élévation graduelle de l'orifice d'écoulement, égale à celle qui est exercée au même point par l'eau du réservoir.

Il ne faut pas croire, néanmoins, que l'ascension de l'eau jaillissante atteigne le niveau de ce réservoir. Cet effet n'a pas lieu, et nous examinerons, dans la théorie qui va suivre, les causes de cet abaissement du maximum de l'ascension des puits artésiens. Nous en tirerons ensuite des conséquences très-importantes pour la pratique de la

(*) On ne pourrait attribuer l'entretien des puits artésiens à l'imbibition directe des pluies dont l'action, comme on le sait, n'est sensible qu'à une profondeur extrêmement petite.

construction et pour la certitude de la conservation de ces puits.

On sait, d'ailleurs, que l'élévation et le volume des eaux de quelques puits artésiens éprouvent des altérations plus ou moins importantes; les faits cités par M. le vicomte Héricart de Thury et par M. Arago sont extrêmement remarquables et prouvent combien est grande la variété des dispositions géologiques.

De cette variété résultent quelquefois des anomalies que l'on imite au moyen de plusieurs appareils de physique, et l'on sent bien que nous ne pouvons avoir l'intention de comprendre dans notre théorie tous les phénomènes exceptionnels qui sont produits par les jeux de la nature.

Il est, d'ailleurs, aisé de concevoir que le volume d'un puits artésien doit éprouver des changements, lorsque le réservoir subit des crues dont la hauteur est sensible par rapport à la différence de niveau qui produit l'écoulement, ou bien lorsque cet écoulement rencontre, à différentes époques, des résistances inégales. C'est, par exemple, ce qui arrive pour certains puits, dont les nappes alimentaires sont en communication avec l'Océan, et sont, par conséquent, soumises à l'influence du flux et du reflux (29).

Toutefois, il est d'autres variations qu'il est difficile, sinon impossible, d'attribuer à cette cause : telles sont celles qui ont été observées à Meaux, sur deux puits artésiens, tandis que les autres puits de cette ville n'éprouvaient pas les mêmes alter-

natives. Ces variations m'ont été indiquées par M. le vicomte Héricart de Thury, à l'obligeance duquel je suis redevable de renseignements nombreux et précieux : elles se font remarquer de six heures en six heures, dans le produit des deux puits qui y sont soumis.

Près des côtes, on devrait les attribuer à l'action de la marée; mais comment admettre une semblable relation à Meaux, et sur deux puits seulement, tandis que les autres en sont exempts ?

On croit aussi avoir remarqué, sur quelques-uns des puits de Tours, des différences analogues mais extrêmement faibles.

Nous ne pouvons assurément nous engager dans la discussion de toutes les dispositions anomales, et nous nous occuperons seulement des puits artésiens situés dans les conditions ordinaires, c'est-à-dire des puits auxquels une alimentation régulière, soutenue par un niveau constant du réservoir, amène un volume uniforme, circulant entre des couches géologiques superposées.

6. On se ferait difficilement une idée de l'abondance de certaines nappes souterraines, si les succès prodigieux qui ont été obtenus à Tours, ou dans les environs de cette ville, et qui ont retenti dans toute l'Europe, n'avaient révélé à la fois la valeur de ces richesses et la puissance de l'art nouveau des sondages : art nouveau, disons-nous, car on ne peut comparer ce qu'il était, il y a vingt ans, à ce qu'il est aujourd'hui. Alors, à peine connu, borné à quelques recherches superficielles, dans

des localités peu nombreuses et fort resserrées, il se traînait péniblement depuis des siècles dans un état de langueur et d'imperfection; lorsque des hommes à idées grandes et généreuses, des sociétés animées du désir du bien public, réunirent leurs efforts vers son avancement et parvinrent à lui faire faire des progrès immenses et rapides. Le tableau que nous allons donner des produits des puits artésiens de Tours, rangés selon la date de leur construction, fera juger de ce que peuvent, pour le développement d'un art, l'impulsion et les conseils de ces sociétés et de ces hommes dont les suffrages sont la plus belle récompense des travaux qu'ils ont provoqués et dirigés vers l'amélioration de la prospérité nationale.

Pour que le lecteur apprécie mieux la marche croissante des résultats, je le préviens que le puits de Saint-Gatien fut, en 1830, regardé comme une entreprise fort avantageuse pour la ville de Tours, qui se décida à faire aussitôt de nouvelles tentatives. Le puits de la tour Charlemagne attira bien plus encore l'attention; celui de la Riche, enfin, fut regardé comme couronné d'un très-beau succès. Aujourd'hui, à Tours, on en considérerait le produit comme presque nul, et l'on croirait avoir essuyé un échec.

Je dois avertir aussi que quelques-uns des nombres m'ont été fournis par des renseignements très-approximativement exacts, mais que je ne pourrais me rendre garant d'une précision mathématique.

Tableau des puits artésiens de la ville de Tours et de leurs produits.

NOMS des sondeurs.	SITUATION des puits.	PROPRIÉTAIRES.	Prod. par minute à la hauteur du sol, lors de l'achèv. du puits.	DESTINATION.	OBSERVATIONS.
Degousée.	Place S.-Gatien...	La ville de Tours..	30 lit.	Alimentat. des font.	
Degousée.	Tour Charlemagne.	La ville de Tours..	72	Alimentat. des font.	
Degousée.	Place de la Riche..	La ville de Tours..	173	Alimentat. des font.	
Degousée.	Quart. de cavalerie.	La ville de Tours..	1110	Alimentat. des font. et service du quart.	
Degousée.	Caserne d'infanterie	La ville de Tours..	500	Alimentat. des font. et service du quart.	
Degousée.	Ancien couvent des capucines......	M. Champoiseau..	1400	Mise en mouvement d'une filat. de soie.	Ce puits, après avoir diminué, a été réparé par M. Mulot, et donne aujourd'hui 3480 lit. à 0m50 au-dessus du sol.
Degousée.	Brasserie de la place d'Aumont......	M. Tessier, premier puits..........	1848	Mise en mouvement d'un moulin à blé.	
Degousée.	L'abattoir........	La ville de Tours..	365	Service de l'abatt..	Un peu au-dessous du sol dans l'aqueduc.
Degousée.	Brasserie de la place d'Aumont......	M. Tessier, deuxième puits.......	982	Mise en mouvement d'un moulin à blé.	Ce produit avait réagi sur celui du premier puits, et l'avait notablement diminué.
Degousée.	Ancien prieuré de Saint-Éloi......	MM. Degousée et Chauveau......	plus de 2000	Mise en mouvement d'une usine......	

Tableau des puits artésiens des environs de la ville de Tours et de leurs produits.

NOMS des sondeurs.	SITUATION des puits.	PROPRIÉTAIRES.	Prod. par minute à la hauteur du sol, lors de l'achèv. du puits.	DESTINATION.	OBSERVATIONS.
Degousée.	Palluau, à S.-Cyr.	M. Bretonneau. . .	320[lit.]	Service d'un jardin.	A une demi-lieue de Tours, à l'ouest
Mulot. . .	Cangé, 1[er] puits. .	M. le comte de Richemont.	2614	Irrigation d'une vaste prairie. . . .	A une lieue et demie de Tours, au sud-est. .
Degousée.	La Ville-aux-Dames, trois puits.	M. Lecomte-Petit. .	»	Mise en mouvement d'un moulin à blé.	Les deux premiers puits ont donné 2188 litres sur une roue hydraulique en dessus, de 4m66 de diamètre; à une lieue de Tours, à l'est.
Degousée.	Esvres.	M.	Très-peu d'eau.	Augmentation de la force d'un moulin à blé.	A quatre lieues de Tours, au sud.
Mulot. . . .	Cangé, 2[e] puits. .	M. le comte de Richemont.	3000	Mettra en mouvement une machine hydraulique qui élèvera l'eau sur le plateau de Cangé.	A une lieue et demie de Tours, au sud-est.
Degousée.	Rochecotte.	Madame la duchesse de Dino.	produit inconn.	Service d'un jardin.	A quelques lieues de Tours, à l'ouest.
Mulot. . . .	L'hospice.	La ville de Tours. .	1300	Service de l'hospice.	Hors du faubourg, à l'ouest de la ville.

J'ai donné, dans la planche II, fig. 4, un plan visuel de la ville de Tours et de ses environs, et j'y ai marqué les situations respectives de ces puits, à l'exception de ceux d'Esvres et de Rochecotte, que leur éloignement ne m'a pas permis d'y comprendre. Enfin on trouvera, dans la note première, un état des différentes couches qui ont été traversées par la sonde, dans la construction du puits de M. Champoiseau, au centre de la ville, et dans celle du premier puits de Cangé, à une lieue et demie, au sud-est de Tours.

7. L'ascension de l'eau dans un puits artésien, et, par conséquent, le succès des tentatives que l'on fait à cet égard, supposant, comme nous l'avons vu, l'existence d'un réservoir plus élevé que le point où l'on se propose de creuser, et une disposition convenable des couches des terrains qui existent entre ce réservoir et le point donné, on conçoit toute l'importance des études géologiques pour la discussion de la valeur des espérances que l'on forme. Nous engageons nos lecteurs à consulter, à ce sujet, les ouvrages déjà cités de M. le vicomte Héricart de Thury, de M. Arago et de M. Garnier.

Nous ferons aussi, dans l'exposition de notre théorie, des observations relatives à la résistance des couches aquifères, résistance nécessaire pour empêcher la dispersion souterraine et latérale de l'eau; résistance, par conséquent, indispensable pour le succès, même dans le cas de l'existence d'un réservoir suffisamment élevé, et des conditions géologiques les plus favorables.

8. Après avoir fait connaître la cause de l'ascension de l'eau, je passe à la description très-sommaire des procédés suivis pour la construction des puits forés.

On commence ordinairement par creuser une espèce de puits ordinaire, carré, d'une grande dimension, et l'on empêche l'éboulement de ses parois au moyen d'un coffre en bois et des étrésillonnements nécessaires. On conduit jusqu'à un terrain très-solide, et, si on le peut, jusqu'au roc, ce puits qui n'est que provisoire, et qui n'a d'autre utilité que de permettre de remplacer par une maçonnerie bien fondée et bien liée, au moyen de mortier hydraulique, les terrains meubles et les terres végétales, qui se rencontrent ordinairement à la surface du sol, sur une épaisseur plus ou moins grande.

On prépare aussi un écoulement aux eaux qui pourront être amenées par le travail projeté, et l'on s'occupe ensuite de commencer le sondage proprement dit.

9. Les instruments employés pour pénétrer dans l'intérieur de la terre peuvent être divisés en deux classes principales, dont la première comprend les tarières ou trépans de toutes les formes, c'est-à-dire les outils qui percent par un mouvement de rotation continu, et la seconde les ciseaux qui percent par un mouvement alternatif de percussion.

Les outils de la première classe, suspendus à un appareil par le moyen duquel on peut les élever à

volonté, et leur imprimer le mouvement circulaire, sans tordre le câble qui les soutient, sont manœuvrés par un nombre convenable d'hommes agissant sur les bras d'un ou de plusieurs leviers horizontaux, qui embrassent la tige carrée de la tarière. On a soin de retirer cette tarière et de dégorger le sondage aussi souvent qu'il est nécessaire pour empêcher les instruments de s'engager ou de se briser, accident qui, lorsqu'il arrive, est grave et cause bien des retards et des dépenses.

Les instruments dont nous venons de parler ne pourraient pénétrer dans les roches calcaires, ni à plus forte raison dans les pierres siliceuses. Alors on recourt à ceux de la seconde classe, et on les fait agir par percussion. Le mouvement alternatif peut être obtenu de différentes manières; l'une des plus commodes est la rotation d'un arbre à cames, mû par un nombre suffisant d'hommes : les cames de cet arbre abaissent l'un des bras d'une bascule dont l'autre bras soulève la tige de fer terminée par le ciseau. Cet outil se trouve donc aussi soulevé au passage de chaque came, puis abandonné; il retombe alors de tout son poids et de tout celui de la tige de fer qu'il termine, sur la pierre qu'il doit entamer et la brise peu à peu, comme le burin de l'ouvrier carrier brise et pulvérise la pierre dans laquelle on se propose d'établir une mine.

Je n'ai pas besoin de dire que les moyens d'exécution, le mode d'assemblage des tiges, la forme des outils varient selon les circonstances, la nature

des terrains, les usages et le génie des sondeurs qui, toujours aux prises avec des obstacles d'une infinie variété, créent souvent de nouveaux instruments pour les besoins du moment. C'est ainsi que des cuillers ayant la forme de cylindres, dont le fond, fermé par un clapet ou par une sphère, peut s'ouvrir en dedans, et retirer ensuite les corps qui ont pénétré dans l'intérieur, servent à ramener les sables coulants, les vases demi-liquides, et les menus débris de pierre détachés par les chocs répétés du ciseau; que des instruments de diverses formes sont employés à roder l'ouverture pratiquée par la sonde, afin d'assurer la parfaite régularité du diamètre et la descente facile des tubes; enfin, que d'autres instruments, connus sous le nom générique d'arrache-sonde, mais de figures très-différentes, donnent le moyen de retirer les sondes brisées par un accident.

J'ai averti que les événements de ce genre sont graves, et causent de longs retards et de grandes dépenses; je dois ajouter qu'ils sont bien rarement irrémédiables, et l'on ne peut s'empêcher d'éprouver de la surprise lorsque l'on voit l'habileté des sondeurs triompher de difficultés qui semblaient d'abord insurmontables.

Les couches de sable que le sondage doit traverser offrent aussi, lorsqu'elles sont épaisses, des obstacles qui nécessitent l'emploi de tubes provisoires ou de retenue que l'on descend dans le puits, et qui s'opposent à l'éboulement continuel des sables. Cet éboulement, en plaçant toujours sous la

sonde un nouveau corps étranger, amortirait et paralyserait l'effet du travail.

On peut voir dans les annales des mines, 3e série, tome v (mars et avril 1834), la description d'un procédé, dit procédé chinois, qui diffère de celui que nous venons de décrire, et qui consiste dans l'emploi presque exclusif de la percussion. Ce procédé a été employé par M. Selligue, pour la construction du puits de l'École militaire à Paris.

10. Il ne suffit pas d'avoir conduit la sonde jusqu'à la profondeur désignée, ni même d'avoir vu jaillir une source abondante; il faut encore empêcher les dégradations des parois du puits, et la perte du courant que l'on a acquis avec de si grands frais. On satisfait à ces conditions en garnissant de tubes l'intérieur de l'ouverture, et les procédés pour y parvenir varient selon les circonstances et la méthode particulière de chaque constructeur. Nous verrons plus loin toute l'importance de cette opération, d'où dépend la conservation des produits que l'on désirait tant obtenir.

La nature des tubes qu'il convient d'employer n'est pas indifférente à beaucoup près, et l'on a vu, dans le second rapport de M. le vicomte Héricart de Thury, au commencement de ce livre, des observations que l'on ne saurait trop méditer. Les tubes de bois paraissent, sous beaucoup de rapports, préférables à tous les autres, et il est bien à désirer que des efforts persévérants triomphent des difficultés que présente encore leur introduction dans les sondages très-profonds.

Je n'insisterai pas davantage sur ces notions préliminaires, que j'ai crues indispensables pour servir de préparation à la lecture de la théorie que je vais exposer; elles sont, sans doute, bien succinctes, mais la description complète des procédés suivis pour la construction des puits artésiens et des conditions géologiques de leur établissement m'eût entraîné dans la composition d'un ouvrage entier, tout à fait différent de celui-ci par sa matière et par son objet (*).

(*) Les personnes qui désireront approfondir le sujet si plein d'intérêt que je n'ai fait qu'effleurer voudront bien se reporter aux ouvrages de M. le vicomte Héricart de Thury, de M. Arago et de M. Garnier; elles trouveront aussi, dans la cinquième livraison de la seconde série des machines de Leblanc, le dessin des appareils et des instruments employés par M. Mulot pour la construction d'un puits foré à Saint-Denis.

CHAPITRE II.

THÉORIE GÉNÉRALE.

Établissement des formules relatives au mouvement de l'eau dans un puits artésien.

(Comme je l'ai annoncé dans l'avertissement, les numéros en petits caractères et marqués d'un astérisque peuvent être omis par les personnes étrangères aux considérations analytiques, et la lecture n'en est pas nécessaire pour l'intelligence de la partie pratique de l'ouvrage. Plusieurs numéros de ce chapitre et du suivant sont dans ce cas. Nous engageons cependant tous nos lecteurs à les parcourir, pour y prendre connaissance des résultats les plus importants que nous aurons soin de rendre très-distincts des raisonnements qui y conduisent.)

11. Les formations géologiques d'où la sonde fait jaillir des eaux souterraines sont des couches perméables, comprises entre des bancs d'argiles ou de roches impénétrables, et se composent de pierrailles ou d'autres substances analogues, entre lesquelles les eaux trouvent des espaces assez libres pour s'infiltrer facilement. Si ces formations présentaient des obstacles insurmontables à la circulation du fluide, si même elles ne contenaient que des sables fins (*), le puits artésien ne fournirait aucune goutte d'eau.

(*) Ces sables, quand ils sont tassés, se laissent si difficilement traverser, que l'art des constructions hydrauliques les emploie pour former d'excellents batardeaux.

Dans leurs ondulations, ces formations géologiques éprouvent des abaissements fréquents; et si, vers leurs parties les plus élevées, les couches compactes qui les enveloppent subissent des brisures ou même une solution totale de continuité; si, de plus, la présence d'un courant ou d'un réservoir superficiel ou souterrain leur fournit l'aliment nécessaire, leurs cavités se remplissent, et il s'y établit, dans beaucoup de cas, une circulation souterraine, même avant que l'on vienne atteindre une de leurs ramifications par l'ouverture d'un puits artésien.

Ce serait donc se placer dans un cas d'exception que de considérer comme fermée de toutes parts, à ses extrémités, la couche géologique perméable qui renferme la nappe alimentaire. Pour que cette supposition se réalisât, il faudrait que la couche dont nous parlons, représentée par A B O G, *pl.* 1, *fig.* 1, et nécessairement assez libre depuis le réservoir jusqu'en O, pour permettre l'alimentation du puits, fût ensuite complétement interceptée de tous côtés; il faudrait, en un mot, qu'elle se réduisit à une veine creuse et dépourvue de toute issue.

Or ce n'est point ainsi que sont constituées les formations géologiques dont l'étendue est plus ou moins vaste, et, généralement parlant, ne se termine point brusquement dans des impasses.

On doit donc considérer le sondage d'un puits artésien comme aboutissant ordinairement dans une couche qui présente de tous côtés un écoule-

ment à l'eau. Cet écoulement, entravé par la résistance des pierrailles et des parois, ne peut s'opérer qu'en vertu de la pression exercée par la charge du réservoir. Une semblable pression agit, comme on le sait, dans tous les sens, et, si l'on vient à forer le banc imperméable qui recouvre la formation géologique aquifère, elle élève, dans le trou de sonde, l'eau à une certaine hauteur, absolument comme elle élèverait ce fluide dans un piézomètre (*). Seulement, le système des conduites souterraines, dans le cas que nous examinons, n'est qu'un assemblage de sources dont les ramifications innombrables, et pour la plupart ouvertes ou mal fermées à leurs extrémités, n'ont aucune espèce de forme géométrique.

12. Quoiqu'il puisse donc et qu'il doive se rencontrer des circonstances où l'écoulement souterrain n'ait pas lieu avant l'opération du sondage, et où la couche aquifère soit complétement terminée de toutes parts, nous devons, pour la généralité de

(*) Un piézomètre est un tube implanté sur une branche de conduite, et destiné à mesurer la pression normale qu'éprouvent les parois de cette conduite. Si le liquide s'élève dans ce tube, quoique la conduite ouverte débouche librement, c'est parce que l'écoulement éprouve, de la part des parois de la portion de conduite située après le piézomètre, et des autres obstacles que l'appareil peut opposer au mouvement de l'eau, une résistance correspondante à la hauteur que la colonne fluide atteint dans le tube. Nous reviendrons (16) sur la mesure de cette hauteur, et, pour de plus amples détails, nous prions le lecteur de consulter les traités d'hydraulique.

notre discussion, supposer que la diffusion du fluide se fasse dans tous les sens, et regarder un puits artésien comme un grand piézomètre (*) dont on peut faire varier la hauteur à volonté. Il nous suffira ensuite d'appliquer à un semblable système les formules et les lois connues de l'hydraulique ; puis, de comparer le tout aux faits observés pour obtenir les conditions générales du mouvement de l'eau dans ces sources précieuses. Nous verrons effectivement, dans le cours de cet ouvrage, la théorie et les phénomènes présenter une concordance parfaite, et tout ce que nous aurons à dire consistera dans l'exposition des principes, dans la déduction d'un certain nombre de corollaires, dans la relation des faits ou des expériences qui en offrent la vérification, enfin dans l'exposition des moyens pratiques de mesurer et d'utiliser les produits obtenus.

13. Nommons :

Fig. 1. H, la distance entre le sol, près du puits, et la surface de l'eau dans le réservoir.

h', la charge dont l'effet est annulé par les résistances et

(*) J'avais d'abord considéré, dans les mémoires que j'ai publiés, un puits artésien comme la branche la plus courte d'un siphon renversé ; mais cette hypothèse n'est convenable que pour le cas particulier, où la circulation du fluide, dans tous les sens, ne se fait pas ou n'est pas sensiblement appréciable. Au contraire, un piézomètre étant bien encore, en quelque sorte, la branche verticale la plus courte d'un siphon renversé, mais d'un siphon dont la partie inférieure débouche un volume indépendant du fluide qui pénètre dans cette branche, il est évident que ce nouveau point de vue est beaucoup plus général que le premier.

les obstacles que l'eau rencontre jusqu'à son entrée au point O, dans le tube artésien.

h, la différence de niveau entre le sol et l'orifice du puits.

H — *h*, sera la différence de niveau entre la surface du réservoir et l'orifice du puits. L'écoulement se ferait comme dans une conduite ayant L + *h* pour longueur, et soumise à la charge H — *h*, si la résistance que les parois des conduites souterraines opposent au mouvement de l'eau, avant son arrivée au point O, ne faisait perdre la partie *h'* de cette charge.

H — *h* — *h'*, sera donc la charge restée utile. C'est en vertu de cette charge que se fera l'écoulement, comme si le tube artésien puisait dans un réservoir libre, sous la charge H — *h* — *h'*. Par cette raison, j'appelle cette quantité la *charge fictive*; elle est égale à celle que l'on représente ordinairement par H, dans les formules d'hydraulique relatives au mouvement des fluides dans les conduites.

L, la longueur du sondage au-dessous du sol.

Q, le volume de l'eau fournie par le puits dans une seconde sexagésimale.

Q', le volume de l'eau qui, dans le cas où la nappe alimentaire est soumise à un courant souterrain, se disperse dans des directions quelconques de cette nappe.

Q'', le volume de l'eau qui s'écoule dans des couches perméables situées au-dessus du niveau de la nappe d'alimentation.

D, le diamètre du puits artésien.

L + *h*, sera la longueur totale du sondage, longueur ordinairement exprimée par L dans les formules connues.

C, le périmètre du tube.

S, la section de ce tube.

v, la vitesse de l'eau dans le puits artésien.

P, le poids de l'eau fournie dans une seconde. On aura, en général, P = 1,000 Q, attendu qu'un mètre cube contient 1,000 litres, et qu'un litre d'eau pèse toujours, très-

approximativement, un kilogramme, à la température ordinaire.

Δ L′, C′, S′, les valeurs moyennes de la longueur, du périmètre et de la section d'une tranche très-courte de l'un des petits canaux souterrains, réguliers ou non, qui amènent l'eau jusqu'au fond du puits artésien.

v', la vitesse moyenne du fluide dans cette tranche.

Δ L″, C″, S″, v'', les quantités analogues relatives au mouvement du liquide dans les conduits souterrains par lesquels il se disperse vers G, et dans tous les autres sens de la nappe principale d'alimentation.

Δ L‴, C‴, S‴, v''', les quantités analogues relatives au mouvement du fluide dans les conduits par lesquels il s'écoule dans les couches perméables situées au-dessus du niveau de la nappe principale d'alimentation (*).

Le tout exprimé en kilogrammes ou en mètres linéaires, carrés ou cubes, selon qu'il s'agit de poids, de lignes, de surfaces ou de volumes.

* 14. Il faut bien remarquer la différence qui existe entre la *charge fictive* et son *niveau*. La charge fictive, comme nous venons de le dire, est la charge en vertu de laquelle est censé se faire l'écoulement, et elle a pour expression $H - h - h'$. Le *niveau de la charge fictive*, variable en même temps que cette charge, est le niveau de la ligne qui sépare les distances que nous avons distinguées sur la fig. 1, par $H - h - h'$ et par h'.

Sa distance, à partir du sol, est évidemment mesurée par $(H - h - h') + h$ (**), c'est-à-dire par

$$H - h' = (H - h - h') + h \qquad (1)$$

et on la calculera facilement, parce que, bien que l'on ne connaisse ni H, ni h', on peut, comme nous le ferons voir

(*) L′, L″, L‴, sont, par conséquent, les longueurs totales des conduits souterrains.

(**) Dans toutes nos formules, nous mettrons entre parenthèses les quantités dont nous voudrons empêcher la réduction.

plus loin, obtenir les valeurs de $H - h - h'$ et de h.

* 15. Dans l'établissement des systèmes ordinaires de distribution d'eau, les tubes piézométriques sont assez élevés pour que le liquide ne puisse les surmonter et s'échapper par leur partie supérieure. Telle doit en être, sans doute, la construction, lorsque ces tubes ont seulement pour objet la mesure de la pression exercée normalement de dedans en dehors sur les parois intérieures des conduites, dont leur établissement ne change nullement alors le régime.

Il en est tout autrement des puits artésiens que l'on a soin de tenir, au contraire, assez bas, pour que l'eau s'élève au dessus de leur orifice. Aussitôt donc que le coup de sonde a pénétré jusqu'à la veine fluide, l'écoulement se partage entre les anciennes voies et la nouvelle ; un autre régime s'établit, et, en vertu du principe de l'égalité entre l'action et la réaction, la nouvelle pression sur le point O mesure la résistance que les parois irrégulières des ramifications souterraines opposent à la dispersion du fluide dans tous les sens ; résistance égale à la pression exercée par la colonne ascendante du liquide qui s'écoule par le puits artésien, c'est-à-dire à la pression piézométrique (*).

* 16. Or la charge qui nous donne la mesure d'une pression si importante est précisément (**) la somme :

1°. De la charge totale sur le point O, ou de $L + H$

2°. Moins la charge dont l'effet est annulé par les résistances éprouvées par le fluide avant son arrivée en O, ou de $-h'$

3°. Moins la hauteur $\frac{v^2}{2g}$ due à la vitesse d'écoulement, ou de $-\frac{v^2}{2g}$

Cette charge a donc pour expression $L + H - h' - \frac{v^2}{2g}$,

(*) On voit aisément que la résistance dont nous parlons comprend la charge due à la vitesse du fluide dans les conduites souterraines.

(**) Voy. le *Traité d'hydraulique* de M. d'Aubuisson de Voisins.

et peut se mettre sous la forme

$$L + h + (H - h - h') - \frac{v^2}{2g} \qquad (2).$$

On voit aisément, d'ailleurs, que la pression qui en résulte est celle qui s'exerce dans tous les sens normaux à celui du mouvement. Or le fluide se mouvant dans le sens du tube artésien, avec une vitesse v, perpendiculaire à la pression piézométrique, est, de plus, soumis, dans ce sens, à une pression exercée par la charge due à sa vitesse v. Ainsi, dans le sens de son mouvement, il éprouve une pression correspondante à la charge qui est exprimée par

$$\left[L + h + (H - h - h') - \frac{v^2}{2g}\right] + \frac{v^2}{2g}$$

ou

$$L + h + (H - h - h') \qquad (3).$$

*17. On remarquera que $H - h - h'$, représentant la *charge fictive*, charge qui produit l'écoulement avec une vitesse v, et surmonte la résistance des parois du tube, on peut, si l'on veut, afin de distinguer les deux parties de cette charge qui exercent ces deux effets différents, mettre cette expression sous la forme

$$H - h - h' = \frac{v^2}{2g} + \left(H - h - h' - \frac{v^2}{2g}\right) \qquad (4).$$

$\frac{v^2}{2g}$ exprimera la charge génératrice de la vitesse de sortie, et $\left(H - h - h' - \frac{v^2}{2g}\right)$ la charge employée à surmonter la résistance des parois du tube régulier.

*18. La hauteur verticale, comprise entre la surface supérieure du fluide qui exerce la charge totale et le fond du sondage artésien, est évidemment

$$L + h + (H - h - h') + h' \qquad (5).$$

Cette quantité réduite est $L + H$; mais nous la laisserons

d'abord sous cette forme, parce que nous aurons plusieurs fois besoin de revenir sur chacune des quantités qui la constituent par leur réunion.

* 19. Recherchons la valeur de ces différentes quantités, afin d'établir ensuite une équation.

1°. L est une quantité constante connue ;

2°. h est une quantité que l'on peut faire varier à volonté, en élevant ou en abaissant l'orifice, mais constante pour chaque situation déterminée de cet orifice.

3°. $H-h-h'$ représente la charge nécessaire pour produire la vitesse d'écoulement, et pour vaincre la résistance de la partie régulière $L+h$ du système total, ou, si l'on veut, la résistance du tube piézométrique. Cette quantité, qui n'est autre que la charge fictive, a donc pour valeur (*)

(*) Voy. dans *l'hydraulique* de M. d'Aubuisson de Voisins la théorie du mouvement de l'eau dans les conduites. Je ferai remarquer que cet auteur appelle H et L ce que j'ai appelé $H-h-h'$ et $L+h$.

M. Poncelet, dans son *Cours de mécanique appliquée aux machines*, professé à l'école de l'artillerie et du génie à Metz, section VI, n° 31, donne une formule qui, lorsque l'on y introduit les caractères par lesquels nous avons représenté nos données, devient, après quelques transformations :

$$H-h-h' = \frac{v^2}{2g}\left(\frac{1}{m'}-1\right)^2+0.0003482\frac{C(L+h)}{S}(v^2+0.04976\,v).$$

Cette formule diffère, comme on le voit, de celle que nous employons, par le coefficient $\left(\frac{1}{m'}-1\right)^2$, dans lequel m' représente le coefficient de la dépense, à l'entrée de la conduite, et par les dernières décimales dans les quantités numériques.

D'abord il est aisé de voir que ces différences sont absolument négligeables dans le cas qui nous occupe. En effet, la hauteur génératrice de la vitesse v^2 étant toujours, dans les puits artésiens, fort petite, par rapport à la charge fictive, l'existence ou la suppression du coefficient $\left(\frac{1}{m'}-1\right)^2$ n'a aucune influence appréciable sur le résultat. D'ailleurs l'effet de la contraction est implicitement représenté

$$H - h - h' = \frac{v^2}{2g} + 0.0003425\frac{C(L+h)}{S}(v^2 + 0.055\,v) \quad (6);$$

comme d'ailleurs $Q = S\,v$, d'où il résulte que $v = \frac{Q}{S}$, on pourra, au moyen de cette équation, déterminer la valeur de la charge fictive $H - h - h'$ quand on se donnera v ou Q.

$H - h - h'$, Q et v croîtront et décroîtront ensemble, pourvu que toutes les autres quantités de la formule restent constantes.

Si le diamètre D variait, il n'en serait plus ainsi, et la charge fictive diminuerait à mesure que l'on augmenterait D. Voyez les numéros (27) et (28).

4°. h' est une quantité très-complexe, et qui dépend à la fois de la charge perdue par suite des résistances que le fluide éprouve avant son arrivée au point O, et de la petite perte de charge qui a toujours lieu lorsque l'eau d'une conduite passe dans un branchement. Mais nous négligerons cette dernière cause de perte, qui est tout à fait sans importance, même dans les puits les plus abondants. D'ailleurs la formule de M. d'Aubuisson de Voisins renferme implicitement une partie de cette perte, puisqu'elle comprend la valeur de la charge nécessaire pour l'introduction de l'eau dans le tube, considéré comme simple conduite.

*20. Il est bien évident que la valeur de h' ne pourra

dans la détermination des quantités numériques de la formule empruntée à M. d'Aubuisson.

Cette dernière a été déduite, par l'auteur, des résultats de plusieurs expériences faites sur de grandes conduites, de diamètres analogues à ceux que l'on donne ordinairement aux puits artésiens; tandis que la formule de M. Poncelet, quoique plus complète, résulte de moyennes prises par M. de Prony sur cinquante et une expériences, dans le plus grand nombre desquelles les tubes avaient des longueurs et des diamètres beaucoup moindres que ceux des puits forés. (Voyez les ouvrages de MM. Poncelet, d'Aubuisson et de Prony.)

La formule de M. d'Aubuisson nous a donc paru plus spécialement applicable à la question que nous traitons.

jamais être évaluée numériquement, puisque non-seulement les ramifications souterraines qui alimentent le puits artésien n'ont aucune forme géométrique, mais que l'on n'en connaît même ni le nombre ni les dimensions approximatives.

Toutefois, en se reportant aux principes des formules du mouvement de l'eau dans les canaux et les conduites, on voit que, si l'on considère le mouvement dans une section de la formation géologique qui alimente le puits artésien, et que la longueur de cette section soit fort petite et égale à $\Delta L'$ ($\Delta L'$ étant une différence finie), la charge $\Delta h'$ nécessaire pour faire couler l'eau dans cette section, avec la vitesse v', exigée par le régime établi, augmentera avec $\Delta L'$.

Elle augmentera aussi avec C', et diminuera avec S'. Quoique les lois de ces variations soient inconnues, nous pouvons, néanmoins, poser, en considérant que v', C' et S' sont des constantes pour chaque section, et en laissant à la fonction l'indétermination la plus complète,

$$\Delta h' = \varphi\left(\frac{v', C', \Delta L'}{S'}\right) \qquad (7).$$

Les pertes de force vive qui se font au passage d'une section à l'autre, par suite des chocs et des autres causes de perturbation de la vitesse, contribueront encore à faire augmenter $\Delta h'$ en même temps que v', et nous pouvons, par conséquent, regarder leur influence comme représentée dans l'équation qui précède.

Nous en tirerons

$$h' = \Sigma\,\varphi\left(\frac{v', C', \Delta L'}{S'}\right) \qquad (8).$$

Cette fonction nous suffira dans son état actuel d'indétermination.

La hauteur du réservoir assigne seule une limite supérieure à la valeur de h', et l'on conçoit que, dans les terrains peu perméables, et même dans les sables fins, il faudrait une énorme charge pour surmonter les résistances opposées

à l'écoulement dans les ramifications souterraines d'une grande étendue. L'abondance du produit d'un puits artésien suppose donc que l'eau circule facilement à travers des pierrailles ou de gros graviers, dans des veines de toute forme et de toutes dimensions, et même que tous ces passages sont assez bien déblayés.

L'insuffisance de la résistance que le terrain oppose à la dispersion du fluide, dans les couches perméables, détermine, d'un autre côté, la limite inférieure de la valeur de h'; et quand, à force d'élever l'orifice de déversement, et, par conséquent, d'augmenter la valeur de h, on parvient à rendre la pression piézométrique suffisante pour opérer l'écoulement total du fluide au travers des couches absorbantes, il ne se produit plus aucun déversement, le produit du puits devient nul, ainsi que la charge fictive. La différence entre le niveau de la surface fluide du réservoir et le niveau de l'orifice est donc alors le minimum de la valeur de h', et limite, par conséquent, l'élévation du niveau de la charge fictive. On voit aisément, d'ailleurs, que, si le terrain opposait à la dispersion du fluide une résistance telle qu'il ne pût se faire aucune déperdition souterraine, l'écoulement ne cesserait totalement que quand l'orifice atteindrait le niveau de la surface fluide dans le réservoir, que, par conséquent, h' décroîtrait, dans ce cas particulier, jusqu'à zéro. Nous reviendrons, avec plus de détails, sur les effets de l'élévation de l'orifice de déversement du puits, dans le numéro (28).

*21. Après avoir ainsi établi séparément les expressions des différentes parties de la charge totale, nous allons les réunir en une seule formule pour obtenir l'équation du mouvement de l'eau dans un puits artésien.

Or la charge totale qui pèse en O sur le fond du sondage a pour expression, ainsi que nous l'avons dit (18),

$$L + h + (H - h - h') + h',$$

et, à cause des valeurs trouvées, formules (6) et (8), on

conclut,

$$L + h + (H - h - h') + h' =$$
$$L + h + \frac{v^2}{2g} + 0.0003425\,\frac{C(L+h)}{S}\,(v^2 + 0.055\,v)$$
$$+ \Sigma\,\varphi\left(\frac{v', C', \Delta L'}{S'}\right) \qquad (9).$$

Nous laisserons provisoirement cette équation sous cette forme, en nous réservant de la réduire plus tard.

Comme nous l'avons dit, le dernier terme de son second membre se compose, sans exception, de quantités tout à fait inconnues, et sur la valeur desquelles il n'y a pas lieu d'espérer que le calcul ait jamais aucune prise.

Dans cet état, l'équation (9) peut néanmoins nous fournir un grand nombre d'indications importantes; puis, en en diminuant plus ou moins la généralité, en faisant des hypothèses sur la valeur du terme inconnu et des quantités qui le composent, enfin en discutant les cas particuliers qui correspondent à ces hypothèses, nous verrons se dérouler différentes séries de phénomènes très-dignes d'intérêt, tous confirmés par les résultats des expériences que j'ai recueillies, et que je rapporterai dans le chapitre suivant.

* 22. Avant d'aller plus loin et de discuter l'équation (9) que nous venons d'obtenir, faisons quelques remarques sur la résistance que le fluide éprouve à son écoulement dans les formations géologiques qui alimentent ou qui environnent le puits artésien.

Nous avons dit (15) qu'en vertu du principe de l'égalité de l'action et de la réaction, cette résistance était précisément égale à la pression piézométrique. La charge qui la mesure au fond du sondage, en O, est donc exprimée (16) par la quantité

$$L + h + (H - h - h') - \frac{v^2}{2g}.$$

Mais, en appliquant aux conduits souterrains par lesquels se fait la dispersion de tout le fluide qui est perdu pour le

puits artésien et qui s'enfuit par toutes les issues que présente la couche alimentaire, les raisonnements des numéros (15) et (20), on voit que la charge piézométrique sera celle qui occasionnera la déperdition, et que, par conséquent, si l'on représente, pour les canaux qui dispersent le fluide, par L'', v'', C'', S'' les quantités analogues à celles que nous avons appelées L', v', C', S', pour les canaux qui l'amènent, on pourra exprimer la charge piézométrique par cette autre formule, dont nous aurons occasion de faire usage,

$$L + h + (H - h - h') - \frac{v^2}{2g} = \Sigma \, \varphi\left(\frac{v'', C'', \Delta L''}{S''}\right) \quad (10).$$

* 23. Si le puits n'est pas tubé jusqu'au fond, ou si sa mauvaise construction permet au liquide de remonter le long du tube en dehors, en sorte que l'eau puisse s'échapper dans quelque couche perméable moins profonde que le point O, par exemple, dans une couche existante au niveau du point E, la charge piézométrique, sur ce point, ne sera plus la même que celle qui pèse sur le point O, et elle aura seulement pour valeur, en vertu des principes qui nous ont servi (16) à établir la formule (2) :

1°. La charge totale sur le point E, ou	$L + H - EO$
2° Moins la charge dont l'effet est annulé par les résistances éprouvées par le fluide avant son arrivée en E; cette charge se compose de h' et d'une autre quantité R correspondante à la perte occasionnée par la résistance exercée par les parois entre le point O et le point E;	$-h' - R$
3° Moins la hauteur due à la vitesse d'écoulement.	$-\frac{v^2}{2g}$

La charge piézométrique au point E aura donc pour expression

$$L + H - EO - h' - R - \frac{v^2}{2g},$$

et, comme $EO = L + h - EF$, on obtiendra aussi, en faisant la substitution et la réduction,

$$(H - h - h') + EF - \frac{v^2}{2g} - R \qquad (11)\ (*).$$

Si nous appelons L''', v''', C''', S''' des quantités analogues à celles que nous avons considérées plus haut (20) et (22), pour les canaux d'alimentation et de dispersion de la couche A B O G, nous aurons, pour les canaux de dispersion de la nouvelle couche dont nous parlons, une équation analogue aux équations (8) et (10), c'est-à-dire,

$$(H - h - h') + EF - \frac{v^2}{2g} - R = \Sigma\,\varphi\left(\frac{v''', C''', \Delta L'''}{S'''}\right) \quad (12),$$

et, comme $EF = L + h - EO$, on aura aussi, en substituant et en transposant,

$$L + h + (H - h - h') - \frac{v^2}{2g} =$$
$$EO + R + \Sigma\,\varphi\left(\frac{v''', C''', \Delta L'''}{S'''}\right) \qquad (13).$$

24. Discutons maintenant la théorie que nous venons d'établir, et reprenons d'abord l'équation (9),

$$L + h + (H - h - h') + h' =$$
$$L + h + \frac{v^2}{2g} + 0.0003425\,\frac{C(L + h)}{S}\,(v^2 + 0.055\,v)$$
$$+ \Sigma\,\varphi\left(\frac{v', C', \Delta L'}{S'}\right).$$

(*) Quand le liquide remonte en dehors du tube, v représente, dans cette formule, la vitesse du fluide dans la zone cylindrique extérieure vide qu'il parcourt.

Cette expression, lorsque l'on y met pour v la vitesse du fluide dans le tube, donne aussi la valeur de la charge qui presse normalement la paroi intérieure de ce tube au point E.

A mesure que le régime se rétablira, quand il aura été troublé, toutes les quantités variables de cette formule prendront d'elles-mêmes, dans chaque instant, les valeurs convenables pour l'existence de l'équation, et celles qu'elles auront prises, lorsque le régime sera devenu stable, resteront constantes aussi longtemps que les conditions du mouvement n'éprouveront aucune nouvelle variation.

L'impossibilité où nous sommes de déterminer entièrement l'expression de toutes les quantités qui entrent dans la formule (9) nous interdit évidemment une discussion complète et rend surtout impraticable la recherche générale des conditions du maximum de produit et de puissance dynamique, dans la supposition où l'on ferait varier à la fois toutes les quantités dont on peut disposer dans l'équation. Nous aurons donc recours à un examen successif des effets produits par les variations survenues dans chacune de ces quantités, lorsque les autres restent constantes.

*25. Cela posé, nous avons à diviser les puits artésiens en deux catégories fort distinctes :

1° Ceux où, après comme avant l'ouverture du sondage, il ne se produit aucune dispersion de fluide autre que l'écoulement utile qui a lieu par l'orifice du puits ;

2° Ceux qui, après le sondage, subissent des déperditions souterraines, soit que la circulation ait précédé la construction du puits, soit qu'elle résulte de la mise en communication de couches géologiques peu résistantes avec une nappe alimentaire, primitivement bien contenue.

*26. 1° Puits de la première catégorie.

Ces puits, qui doivent être fort rares, représentent exactement, comme nous l'avons fait remarquer (12), des siphons renversés ; ils doivent leurs propriétés à la fois à leur excellente construction et à la résistance qu'oppose le terrain à la dispersion du fluide. La pression sur le point O, étant due à la charge $L+h+(H-h-h')-\frac{v^2}{2g}$, après l'ouverture du puits (16), et même ayant été, avant l'ou-

verture, lorsqu'il ne se faisait encore aucun écoulement, due à la charge entière $L+H$, la résistance du terrain est nécessairement supérieure ou au moins égale à la pression qui résulte de cette charge. Aussi ces puits se conservent-ils sans altération, ou du moins sans altération causée par les déperditions souterraines.

Lorsque l'on ouvre un pareil puits, on rencontre évidemment une eau privée de mouvement et de vitesse; par conséquent, on trouve v' nul, ainsi que h' (20). Mais, aussitôt que la sonde a percé la couche imperméable qui recouvre la nappe alimentaire, l'eau, en vertu des principes de l'hydraulique, afflue vers le tube, s'y élève et en jaillit en volume plus ou moins considérable. Un courant souterrain s'établit donc entre le réservoir et le point O, et dès lors v' et h' prennent des valeurs qui s'accroissent d'autant plus que le débouché devient plus considérable.

En effet, on doit remarquer d'abord que v' et h' augmentent ensemble, puisque l'on a $h' = \Sigma\, \varphi\left(\frac{v', C', \Delta L'}{S'}\right)$, équation dans laquelle $\Delta L'$, C', S' sont des quantités constantes pour *chacune* des sections de la formation géologique.

De plus, v' doit nécessairement augmenter en même temps que le débouché Q du puits, car il est bien évident que la vitesse dans les canaux alimentaires doit croître en même temps que le volume dépensé. Toute variation, dans les dispositions du puits artésien, susceptible d'augmenter la dépense fera donc croître v' et par suite h'.

Or, indépendamment de h' et de v', nous n'avons plus, dans toute l'équation (9), que trois autres variables h, $\frac{C}{S}$ et v; je dis trois autres variables, parce que, pour les tubes circulaires, les seuls employés dans les puits artésiens, $\frac{C}{S}$ se réduit à $\frac{4}{D}$, D étant le diamètre du tube.

Or, si, en laissant $\frac{C}{S}$ constant, on fait varier h, en le

diminuant, par exemple, l'équation (9), qui, réduite, peut être mise sous la forme

$$\text{H} = \text{constante} =$$
$$h + \frac{v^2}{2g} + 0.0003425\,\frac{\text{C}\,(\text{L}+h)}{\text{S}}\,(v^2 + 0.055\,v) + \Sigma\,\varphi\left(\frac{v',\,\text{C}',\,\Delta\,\text{L}'}{\text{S}'}\right) \quad (14),$$

ne continuera de subsister qu'autant que la compensation s'établira sur v ou sur v', ou sur les deux ensemble. Mais v et v', dans le cas que nous examinons, doivent nécessairement augmenter ou diminuer en même temps; car, la section restant la même, v ne peut augmenter sans que le débouché Q augmente, sans que v', par conséquent, augmente aussi, et même, enfin, sans que h' augmente également. La réciproque est vraie. En se reportant, d'ailleurs, à l'équation (6), et à ce que nous avons dit (19), on se rappellera que la charge fictive $\text{H} - h - h'$ croît et décroît en même temps que Q et que v.

Concluons donc qu'en abaissant l'orifice d'écoulement, c'est-à-dire en diminuant h, on doit rendre plus grands le produit du puits et sa charge fictive, mais abaisser le niveau de cette charge fictive par l'augmentation qui en résulte sur la valeur de h'; que, par conséquent, h décroît plus vite que h' ne croît; enfin que les effets contraires doivent avoir lieu lorsque l'on élève l'orifice. Ces indications du calcul sont pleinement confirmées par toutes les expériences que j'ai recueillies.

*27. Maintenant si, en laissant h constant, on fait varier $\frac{\text{C}}{\text{S}}$ ou plutôt D, dans sa valeur $\frac{4}{\text{D}}$, on reconnaîtra de nouveaux phénomènes. Pour les étudier, remarquons que $\text{Q} = \text{S}\,v = \frac{\pi\,\text{D}^2\,v}{4}$; d'où $v = \frac{\text{Q}}{\text{S}} = \frac{4\,\text{Q}}{\pi\,\text{D}^2}$. Substituant cette valeur dans l'équation (14), remplaçant $\frac{\text{C}}{\text{S}}$ par $\frac{4}{\text{D}}$ et

réduisant, on aura, H = constante =

$$h + \frac{8\,Q^2}{g\,\pi^2\,D^4} + 0.00137\,(L + h)\left(\frac{16\,Q^2}{\pi^2\,D^5} + \frac{0.22\,Q}{\pi\,D^3}\right) + \Sigma\,\varphi\left(\frac{v', C', \Delta\,L'}{S'}\right) \qquad (15).$$

Si l'on fait varier D dans cette équation, qu'on l'augmente, par exemple, il faudra, pour que l'ensemble des termes qui composent le second membre forme une somme constante et égale à H, que Q ou v' reçoive un accroissement. Or Q, étant le volume fourni par le puits, est lié à v', et ces deux quantités ne peuvent croître ni décroître l'une sans l'autre (26). Ainsi une augmentation donnée à D augmentera à la fois Q, v' et, par une suite nécessaire, h'. Elle sera donc avantageuse, et elle fera croître le débouché. Comme elle exercera la même influence sur h', elle abaissera le niveau de la charge fictive, mais h restant constant, par hypothèse, il s'ensuit que la charge fictive $H - h - h'$ diminuera. Toutes les expériences s'accordent avec ces indications de l'analyse.

Le décroissement de $H - h - h'$, joint à l'accroissement reçu par h' et par v', pourra, dans beaucoup de circonstances, rendre assez faible l'augmentation de Q. C'est sur quoi l'expérience seule peut prononcer dans chaque cas particulier, puisque l'on ignore la véritable valeur du terme laissé sous forme indéterminée dans l'équation (*). Mais l'agrandissement du diamètre a au moins, dans tous les cas, l'avantage d'augmenter plus ou moins le produit, d'abaisser notablement le niveau de la charge fictive, de diminuer la

(*) La comparaison doit se faire entre les produits fournis par des orifices situés à des hauteurs égales au-dessus du niveau d'un repère commun, et dans des conditions identiques de résistance, ce qu'il est difficile de réaliser. On doit aussi ne la faire qu'après avoir donné tout le temps nécessaire pour l'établissement du régime, car on conçoit bien que, si l'on ne donne pas à h' et à v' le temps de varier complétement, temps fort long comme nous le verrons (40), on ne peut apprécier des variations peu sensibles de Q.

pression piézométrique et d'amoindrir, par conséquent, les causes de déperdition et de ruine (28).

Nous verrons aussi plus loin (37) que l'abaissement du niveau de la charge fictive entraîne celui du point qui correspond au maximum de travail dynamique. Il en résulte une diminution très-avantageuse dans le diamètre des récepteurs hydrauliques, dans les dépenses de leur établissement, dans leur pesanteur et dans les résistances passives qui sont occasionnées par cette pesanteur.

L'agrandissement du diamètre des tubes artésiens n'augmentât-il pas considérablement le produit, il n'en serait donc pas moins très-avantageux, sous plusieurs rapports très-importants.

La diminution de la charge fictive et l'abaissement de son niveau par l'effet de l'augmentation du diamètre ont fait naître à Tours une opinion que j'y ai entendu professer pour la première fois pendant l'impression de cet ouvrage (août 1839). On y croyait que le niveau du réservoir alimentaire des puits de cette ville s'était abaissé, parce que le niveau de la charge fictive des puits creusés depuis quelques années n'est plus aussi élevé que celui que l'on constatait en 1833 et en 1834. L'explication de ce fait est fort simple, après l'exposition de ce qui précède. Les succès qui ont été obtenus dans les années que je viens de citer, ayant déterminé les sondeurs et les propriétaires à augmenter beaucoup le diamètre des derniers puits que l'on a exécutés, on a dû nécessairement, ainsi que nous venons de le démontrer, trouver le niveau de la charge fictive moins élevé que pour les puits anciens, dont la section était beaucoup moindre. Cet effet a pu aussi être produit en partie par la communication autrefois insensible, mais aujourd'hui bien établie, entre les puits peu éloignés. Ceux de ces puits qui éprouvent des déperditions, ou qui versent l'eau près du sol, doivent nécessairement, d'après ce qui précède, et d'après ce que nous dirons (29), diminuer le produit et abaisser le niveau de la charge fictive des autres.

Il n'existe, comme on le voit sans peine, aucun moyen d'agir immédiatement sur la vitesse v du fluide dans le puits artésien : on ne peut donc la faire varier qu'eu disposant de h ou de D. Ainsi tout ce qui concerne ses variations se trouve implicitement compris dans la théorie que nous venons d'exposer.

* 28. Puits de la seconde catégorie.

Ces puits, avons-nous dit (25), sont ceux qui, après leur construction, sont soumis à des déperditions souterraines, soit que la circulation du fluide dans la nappe aquifère ait précédé le forage, soit qu'elle résulte de la mise en communication de couches géologiques très-perméables, avec une nappe alimentaire primitivement bien contenue.

Remarquons d'abord que les formules (8), (9), (10), (13), (15) permettent d'établir l'équation

$$
\begin{aligned}
&L + h + (H - h - h') - \frac{v^2}{2g} = \\
&L + H - \Sigma\varphi\left(\frac{v', C', \Delta L'}{S'}\right) - \frac{v^2}{2g} = \\
&L + h + 0.0003425\,\frac{C\,(L + h)}{S}\,(v^2 + 0.055\,v) = \\
&\Sigma\varphi\left(\frac{v'', C'', \Delta L''}{S''}\right) = \\
&E\,O + R + \Sigma\varphi\left(\frac{v''', C''', \Delta L'''}{S'''}\right) = \\
&(L + h)\left[1 + 0.00137\left(\frac{16\,Q^2}{\pi^2 D^5} + \frac{0.22\,Q}{\pi\,D^3}\right)\right] \quad (16);
\end{aligned}
$$

on reconnaît, dans le premier des six membres de cette équation, la charge piézométrique qui pèse en O sur le fond du sondage (16), et les cinq autres membres n'en sont que des expressions de différentes formes.

Comme nous rencontrons encore ici les difficultés qui s'opposent à une discussion générale, difficultés que nous

avons signalées (24), nous nous restreindrons à la marche que nous avons suivie pour l'examen des propriétés des puits de la première catégorie.

Quoique le second membre de l'équation (16), lequel représente la charge piézométrique, paraisse indépendant de h, il n'en faut pas conclure que ce second membre ne soit pas affecté des variations que l'on fera subir à h. En effet, h, influant sur le débouché Q [voyez l'équation (15)], aura, par contre-coup, une action sur v'. Il est évident, d'ailleurs, que Q, v' et h' continueront de croître et de diminuer ensemble, ainsi que v, qui suit la même loi que le débouché, quand la section reste constante (26) (*).

Si donc on fait varier h, qu'on le diminue, par exemple, l'équation (16) ne pourra continuer de subsister qu'autant que v', v, h' et Q recevront un accroissement. On augmentera, d'ailleurs, l'évidence de ce théorème et des autres propositions du même genre, relatives au cas que nous examinons, en se reportant aux équations (9), (14) et (15), qui sont applicables aux puits artésiens quelconques, ainsi que l'on peut aisément s'en convaincre, si l'on remarque qu'elles sont indépendantes des propriétés qui distinguent les deux classes que nous avons établies.

Nous tirerons donc de ce qui précède, par rapport aux variations de h et de D, pour les puits de la seconde caté-

(*) On pourrait combattre cette démonstration en disant que, pour les puits de la première catégorie, dont il est question dans le numéro (26), v' est seulement fonction de Q, tandis que, pour ceux de la seconde, dont nous nous occupons, cette quantité est fonction de Q, de Q″ et de Q‴ ; qu'ainsi la conservation des égalités (15) et (16) pourrait être le résultat d'accroissements reçus par Q″ ou par Q‴, et non par Q. Mais la diminution de h ne peut augmenter la pression piézométrique, sur le point O ni sur le point E. En supposant même que cette pression piézométrique ne diminuât pas, Q″ et Q‴ resteraient tout au plus constants. L'augmentation nécessaire pour la conservation des équations (15) et (16) ne peut donc porter que sur Q, comme pour les puits de la première catégorie.

gorie, les mêmes conclusions que pour les puits de la première, (26) et (27), c'est-à-dire que,

Si l'on abaisse l'orifice d'écoulement en diminuant h, on augmente le produit et la charge fictive, mais en abaissant le niveau de cette charge fictive par l'augmentation de h'.

Si l'on augmente le diamètre du puits artésien, en laissant h constant, on augmente aussi plus ou moins le produit, mais alors on diminue la charge fictive dont l'accroissement de h' abaisse le niveau.

La diminution de h ou l'augmentation de D, faisant croître à la fois v, v', h' et Q, rendra moindres tous les membres de l'équation (16), et, par conséquent, la charge piézométrique sur le fond du sondage. Le décroissement du quatrième et du cinquième membre de l'équation, qui ne varient que par v'' et par v''', fait voir d'ailleurs que les déperditions souterraines s'affaibliront. Enfin la diminution de v'' et de v''' aura le grand avantage d'amoindrir les ravinements souterrains, et même de les faire cesser entièrement, si la cohésion du terrain surpasse l'action érosive de la vitesse ainsi réduite.

L'augmentation de h ou la diminution de v produira un effet tout contraire, et, par conséquent, il est très-préjudiciable d'élever beaucoup l'orifice de déversement des puits artésiens, ou de donner à ces puits un très-petit diamètre.

*29. Si, par suite des ravinements souterrains, les fractions $\frac{C''}{S''}$ et $\frac{C'''}{S'''}$ viennent à décroître (*), le quatrième et le cinquième membre de l'équation (16) décroîtront aussi, et entraîneront la diminution de tous les autres. Dans un puits définitivement établi, S, D et h sont constants; ce sera donc sur

(*) Les dégradations exercées par l'eau sur les parois des cavités souterraines font croître à la fois C″ et S″, C‴ et S‴; mais, comme C″ et C‴ représentent des périmètres, tandis que S″ et S‴ représentent des sections, ces dernières quantités, malgré l'irrégularité de leurs formes, croissent généralement beaucoup plus rapidement que les premières, en sorte que les ravinements souterrains ont toujours pour effet de diminuer les fractions $\frac{C''}{S''}$ et $\frac{C'''}{S'''}$.

v, et, par conséquent, sur le débouché $Q = \frac{\pi D^2}{4} v$, que portera cette diminution dans le sixième membre.

Quant à la vitesse v', loin de diminuer, elle ne pourra qu'augmenter dans cette circonstance. En effet, quand nous démontrions précédemment, (26) et (28), qu'elle suivrait les variations de v et de Q, nous supposions que les quantités $\frac{C''}{S''}$ et $\frac{C'''}{S'''}$ restaient constantes. Lorsque, au contraire, ces fractions diminuent, c'est évidemment parce que S'' et S''' croissent, car les dégradations ne peuvent amoindrir C'' et C'''.

Or, lorsque $\frac{C''}{S''}$ et $\frac{C'''}{S'''}$ diminuent, la somme totale des résistances que les parois des différents issues ouvertes aux eaux opposaient à leur écoulement diminuant également, et la charge totale étant constante, cet écoulement, représenté (13) par $Q + Q'' + Q'''$, doit augmenter, et devenir $Q + Q'' + Q''' + \delta$; mais, en augmentant, il fait croître v', et par suite h'. En outre, quand un puits est définitivement construit, h y est constant; par conséquent, l'augmentation de h' diminue la charge fictive $H - h - h'$. Q doit donc diminuer (28), et c'est sur Q'' et Q''' seulement, c'est-à-dire sur les déperditions souterraines, que porte l'augmentation (*).

Ainsi l'accroissement des déperditions souterraines aura, pour conséquences immédiates, le décroissement du volume Q fourni par le puits artésien, la diminution de la charge fictive et l'abaissement de son niveau. C'est aussi ce que l'expérience confirme sans aucune exception.

(*) La diminution de Q et de la charge fictive occasionne une diminution de la charge piézométrique qui ralentit l'accroissement que prendraient les déperditions souterraines si cette charge ne diminuait pas; mais, malgré ce ralentissement, il n'y en a pas moins accroissement, puisque la somme des résistances a diminué et que la charge totale est restée la même.

Pour un puits dont la nappe alimentaire communique avec le fond de l'Océan, par son prolongement indéfini dans le sens de G, pl. I, fig. 1, la résistance à la dispersion varie avec la hauteur de la marée. Cette circonstance opère donc dans la pression piézométrique, la charge fictive et la dépense du puits, une variation qui devient sensible lorsque la différence entre la hauteur du flux et du reflux est comparable à la charge H.

Telle est certainement, dans plusieurs cas, surtout pour les puits voisins de la mer, l'explication des phénomènes dont nous avons parlé dans le numéro (5), explication déjà signalée par M. Arago, dans sa notice, page 231.

30. Les principes que nous avons établis nous permettent de reconnaître les conditions du surgissement de l'eau, et par conséquent de la réussite des tentatives que l'on projette de faire pour la construction d'un puits foré.

Le premier élément de la question est bien évidemment l'existence de la nappe artésienne; le second, la différence de nieau entre le point où l'on se propose de sonder et les inflexions culminantes de la formation géologique alimentaire; le troisième, la résistanee que cette formation ainsi que les autres couches du terrain peuvent opposer à la dispersion du fluide.

Les deux premières conditions sont du ressort de la géologie; la dernière, au contraire, est la conséquence des principes de l'hydraulique; mais l'expérience seule peut faire connaître si elle est accomplie.

Lorsque aucun sondage n'a encore été tenté dans une contrée, on ne peut donc asseoir ses espérances que sur la connaissance de la constitution et de

la hauteur du sol, par rapport aux lieux où déjà des succès ont été obtenus; mais, lorsque quelques puits ont été forés dans le voisinage de celui que l'on se propose de construire, on peut acquérir, par des expériences fort simples, sinon une certitude, au moins une forte probabilité.

En effet, nous avons vu (16) que la charge $L + h + (H - h - h') - \frac{v^2}{2g}$ est précisément égale à celle qui correspond aux résistances que le terrain oppose, dans le fond du sondage, à la dispersion du fluide; ordinairement, d'ailleurs, il est assez homogène dans une étendue médiocre. Si donc on élève successivement l'orifice d'un des puits déjà existants et bien construits, jusqu'au point où l'eau cesse de couler, on obtiendra la valeur de la charge maximum qui répond là à la résistance du terrain. On pourra donc concevoir une espérance très-fondée d'obtenir des eaux jusqu'à cette hauteur, pourvu que l'on soit peu éloigné du puits sur lequel l'expérience aura été faite. Il sera d'ailleurs impossible de faire d'avance aucune conjecture précise sur la quantité, puisque cette quantité, même pour des puits très-voisins, dépend du point où vient aboutir le sondage.

31. Les résistances que les terrains qui ne sont pas imperméables opposent aux filtrations diminuent à mesure que les eaux ravinent et élargissent les passages qu'elles se sont ouverts; par conséquent, les quantités $\frac{C''}{S''}$ et $\frac{C'''}{S'''}$ diminuent progressivement avec la charge fictive, et avec le produit

du puits, à mesure que cet effet fâcheux s'accroît (29).

Le produit peut même finir par s'anéantir pour tous les puits où l'on a cru devoir se fier à l'imperméabilité prétendue du terrain, et se dispenser de tuber profondément, jusqu'aux nappes d'eau soumises à une pression assez considérable pour devenir ascendante.

C'est ce que confirment, sans exception, toutes les observations faites sur les puits artésiens dont le tubage, imparfait ou incomplet, a permis aux eaux de s'ouvrir des issues.

32. Je suis, à mon grand regret, forcé de dire que presque tous, sinon tous les puits forés à Tours ont éprouvé, depuis quelques années, des diminutions considérables qui, pour quelques-uns, équivalent à peu près à une extinction. Ainsi le puits de la tour Charlemagne est pour ainsi dire anéanti, et le puits de la caserne de cavalerie ne donne plus maintenant qu'une fraction très-faible de son produit primitif.

On a d'abord pensé que des ensablements étaient la cause de cet appauvrissement; mais la sonde, descendue dans plusieurs des puits signalés pour leur grand décroissement, est parvenue sans obstacle jusqu'au fond. Celui de la Riche a même, à la suite de cette opération, été creusé de 15 mètres environ, sans que cette augmentation de profondeur ait ajouté un seul litre à son produit.

On a cru aussi à l'épuisement des nappes; mais nous ferons voir que cet épuisement n'est pas probable dans le cas que nous examinons.

C'est donc principalement à des déperditions souterraines produites par les causes dont nous venons de nous occuper, que nous devons attribuer des diminutions aussi fâcheuses ; et, comme les ravinements et les dégradations tendent toujours à s'augmenter, on peut prédire avec quelque certitude l'anéantissement plus ou moins rapproché du produit d'un puits, dès que ce produit a commencé à subir un affaiblissement causé par des pertes de ce genre.

De là résulte la nécessité d'asseoir solidement les tubes pour intercepter toute communication entre le fond et les couches supérieures, et de les prolonger jusqu'à la profondeur où les sources que l'on rencontre sont soumises à une pression supérieure ou du moins égale à celle qui résulte de la charge $(H - h - h) + EF - \frac{v^2}{2g} - R$ (23); car, si ces sources étaient soumises à une pression moindre, elles ne manqueraient pas de refluer sur elles-mêmes et de présenter un débouché aux eaux que l'on a un si grand intérêt de conserver.

Sans ces précautions, on ne sera jamais en sûreté, et quelque compactes que soient les couches traversées par le sondage, on aura toujours à craindre les filières que présentent souvent les terrains, même les plus fermes et les plus homogènes ; et, s'il se rencontre de temps en temps, par suite de l'heureuse disposition du fonds, des exceptions qui fournissent des arguments aux adversaires d'une solidité coûteuse, il n'en sera pas moins très-dangereux de ne pas atteindre cette

solidité. Je pense que, si l'on terminait le tube par une armature conique bien rodée dans la plaquette ou dans la couche très-compacte sous laquelle se trouve la première source que l'on veut conserver, on parviendrait à assurer l'extrémité inférieure de ce tube. C'est sans doute parce que les tuyaux en bois se sont fortement serrés contre les parois du terrain en se gonflant, que les anciens puits de Lillers et autres semblables ont pu maintenir leur produit jusqu'à nos jours ; et je regarde l'ascension de l'eau en dehors du tube, jusqu'à la nappe de l'eau des puits ordinaires, comme presque toujours plus nuisible et plus dangereuse que les filtrations mêmes au travers du terrain.

Il est visible d'ailleurs que, plus on élèvera l'orifice d'un puits artésien, plus on accroîtra la charge $(H - h - h') + EF - \frac{v^2}{2g} - R$, et par conséquent les chances de déperdition et de ruine.

J'ai encore demandé à l'expérience la confirmation des principes que je viens de poser, et la réponse a été irréfragable. J'ai mesuré avec beaucoup de précision le niveau de la surface des *puits ordinaires*, dans quelques maisons, en suivant plusieurs directions, et en m'éloignant succcssivement de plusieurs des puits artésiens de Tours. Il est évident que cette surface devait être sensiblement de niveau, si le puits artésien n'eût éprouvé aucune perte extérieure capable d'y apporter une perturbation. Or j'ai trouvé constamment cette surface plus élevée auprès du puits artésien, et, à mesure que je me suis éloigné, je l'ai vue s'abais-

ser graduellement. J'ai remarqué dans mes nivellements des différences de niveau de 0m,50 et plus, entre le puits ordinaire le plus proche et le puits ordinaire le plus éloigné. Il est donc de la dernière évidence que l'eau des puits artésiens dont je parle remonte en dehors le long du tube et vient gonfler la nappe des puits ordinaires. La charge qui résulte de ce gonflement occasionne l'écoulement de l'eau affluente au travers des sables très-perméables d'alluvion sur lesquels repose la ville. La surface d'ailleurs s'abaisse à mesure que l'eau s'éloigne du puits artésien qui sert de centre d'alimentation, parce que le filtre naturel s'agrandit en même temps que le rayon, et que l'écoulement exige alors une charge moins grande. (Voyez la figure 2.)

Il est d'ailleurs notoire, dans les environs des puits artésiens, dont le décroissement a été fort considérable, que les eaux de plusieurs puits ordinaires se sont fort améliorées, et que plusieurs caves sont maintenant plus exposées qu'auparavant aux inondations pendant les crues de la Loire, parce que le gonflement de ce fleuve, en élevant la nappe des puits ordinaires, élève en même temps le niveau de l'eau artésienne qui se disperse autour des puits forés. Lors d'un agrandissement fait dernièrement à la caserne de cavalerie, quelques voisins ont, par cette raison, sollicité et obtenu la permission de se servir des déblais et des gravois pour exhausser le sol de leurs caves.

Quoique ce qui précède démontre très-évidemment que les défauts du tubage et les déperditions

souterraines sont les causes principales de la diminution des produits des puits artésiens, on ne doit cependant pas conclure que ces causes soient absolument les seules qui entraînent ces fâcheuses conséquences. En effet, le passage d'une sonde a, dans certains cas, ramené une partie, jusqu'à présent très-médiocre, des eaux qui avaient disparu, et, par conséquent, a prouvé l'existence d'obstructions dans les tubes.

L'extrême importance des diminutions du produit des puits artésiens nous obligera donc d'approfondir complétement cette question ; mais nous ne le ferons qu'en terminant ce chapitre, afin de ne pas nous interrompre par une trop longue digression.

33. Les principes qui précèdent nous permettent de répondre à une question que l'on entend souvent proposer ; celle de savoir s'il convient de conserver toutes les sources que l'on rencontre.

Il est bien évident, d'après ce que nous avons dit, que les sources trouvées en un point quelconque E, et dont les eaux ne sont pas soumises à une charge égale au moins à

$$(H - h - h') + EF - \frac{v^2}{2g} - R,$$

formule (11), présentent des débouchés et causent des déperditions : il faut donc que le tubage les isole et les ferme complétement.

Toutes celles qui se trouveront dans le cas contraire seront utiles, et, si la source principale est tellement abondante que celles-ci ne contribuent en rien à l'augmentation du produit du puits, elles

n'en causeront, du moins, ni la dégradation ni la ruine.

Dans la pratique, il serait impossible d'isoler successivement les sources que l'on atteint, et de les soumettre particulièrement à des expériences; mais il sera prudent de ne conserver que les plus importantes, et de sacrifier toutes les sources peu profondes dont le produit et, par conséquent, la charge fictive, seront faibles; parce que l'on ignorera toujours si le peu d'élévation de la charge fictive, au lieu d'être causé par l'exiguïté de ces sources, ne l'est pas par un défaut de résistance dans le terrain, et que l'incertitude sur ce point présenterait trop de danger pour la conservation du puits.

* 34. L'équation fondamentale (9) peut être mise sous une forme qui diffère de celle que nous avons obtenue, et qui présente, dans plusieurs cas, des avantages pour la comparaison entre les indications de la théorie et les résultats des expériences. En effet, puisque h' reçoit un accroissement négatif $-\,dh'$, quand h en reçoit un positif égal à dh, on peut poser $-\,dh' = \varphi\, dh$.

Ce qui donne

$$-\int dh' = \int \varphi\, dh. \qquad (17),$$

Lorsque, d'ailleurs, les variations que l'on fait subir à h sont petites par rapport à H et à L, il est permis de supposer que h' varie proportionnellement à h, et par conséquent de remplacer $\varphi\, dh$ par $m\, dh$, m étant une quantité numérique constante entre les limites dans lesquelles on renferme les variations de h. Il en résulte

$$-\int dh' = \int m\, dh$$

ou

$$m = \frac{-\int dh'}{\int dh}. \qquad (18).$$

On déterminera d'ailleurs m avec beaucoup de facilité. Il suffira, pour cela, de jauger les produits du puits pour deux valeurs a et b de h aussi éloignées que possible l'une de l'autre. Ces deux valeurs, étant deux quantités connues, donneront l'intégrale $\int_a^b dh$, égale à $b - a$ et positive quand b sera plus grand que a, c'est-à dire quand h croîtra.

On représentera aussi par h'_a et par h'_b les valeurs de h' correspondantes à $h = a$ et à $h = b$. L'accroissement $-\int dh'$ de h' sera, par conséquent, entre les mêmes limites,

$$-\int_{h'_a}^{h'_b} dh' = -(h'_b - h'_a);$$

on aura donc

$$m = \frac{-\int_{h'_a}^{h'_b} dh'}{\int_a^b dh} = \frac{-(h'_b - h'_a)}{b-a},$$

ou, parce que

$$(h'_b - h'_a) = [(H - h'_a) - (H - h'_b)],$$

$$m = -\frac{[(H - h'_a) - (H - h'_b)]}{b - a} \quad (19).$$

Comme le niveau de la charge fictive s'élève avec l'orifice (26) et (28), la quantité comprise au numérateur entre les crochets sera négative quand b sera plus grand que a, et par conséquent m sera alors positif. D'ailleurs, nous avons démontré (26) que h croît ou décroît plus vite que h' ne décroît ou ne croît, et par conséquent m sera toujours une fraction numériquement plus petite que 1.

On connaîtra facilement les quantités $H - h'_a$ et $H - h'_b$, en calculant, au moyen des produits fournis par le puits, pour les deux hauteurs $h = a$ et $h = b$ de l'orifice, les charges fictives $H - a - h'_a$ et $H - b - h'_b$ correspondantes. En y ajoutant (14) les quantités connues a et b, on obtiendra $(H - h'_a)$ et $(H - h'_b)$; puis

on en conclura la valeur numérique de m, au moyen de l'équation (19).

Quand on aura ainsi déterminé m, il sera facile de calculer l'accroissement algébrique $-\int_{h'_a}^{h'_x} dh'$ de h', pour l'élévation de l'orifice de $h = a$ en $h = x$, car la valeur de cet accroissement sera

$$-\int_{h'_a}^{h'_x} dh' = m \int_a^x dh,$$

ce qui donnera

$$h'_x - h'_a = - m\,(x - a) \qquad (20).$$

Il en résulte que, quand l'orifice sera passé de $h = a$ en $h = x$, h'_a sera devenu $h'_a - m\,(x - a)$.

Comme le nom de la variable est indifférent, rétablissons h à la place de x, et nous aurons pour la valeur acquise par h'_a

$$h'_a - m\,(h - a) \qquad (21).$$

La charge fictive étant, en général, exprimée par

$$H - h - h'$$

deviendra donc, quand l'orifice passera d'une hauteur $h = a$ à la hauteur encore indéterminée h,

$$H - h - [h'_a - m(h - a)],$$

ou, après réduction,

$$[(H - h'_a) + (m - 1)\,h - m\,a] \qquad (22),$$

et on la calculera facilement quand on se sera donné a et b, et que l'on aura déterminé m, au moyen de ces deux quantités connues.

* 35. Cela posé, si nous remplaçons, dans l'équation fondamentale (9), h' par $h'_a - m\,(h - a)$, et que nous

représentions par v'_a la valeur de v' convenable pour h'_a, nous aurons,

$$L+h+[(H-h'_a)+(m-1)h-ma]+h'_a-m(h-a)=$$
$$L+h+\frac{v^2}{2g}+0.0003425\,\frac{C(L+h)}{S}(v^2+0.055\,v)+$$
$$\Sigma\,\phi\left(\frac{v'_a, C', \Delta L'}{S'}\right)-m(h-a) \qquad (23).$$

Nous pouvons, sans inconvénient, réduire les deux termes $L+h$ qui se trouvent identiquement les mêmes dans les deux membres de l'équation où nous avons été obligés de les conserver d'abord pour obtenir l'expression de la charge totale sur le fond O du puits artésien.

Nous pouvons également supprimer les termes identiques

$$+h'_a-m(h-a)\,\text{et}+\Sigma\,\phi\left(\frac{v'_a, C', \Delta L'}{S'}\right)-m(h-a),$$

ce qui réduit l'équation (23) à

$$[(H-h'_a)+(m-1)h-ma]=$$
$$\frac{v^2}{2g}+0.0003425\,\frac{C(L+h)}{S}(v^2+0.055v) \qquad (24),$$

formule tout à fait analogue à l'équation (6), dont elle ne diffère que par la nouvelle forme que nous venons de donner à l'expression de la charge fictive représentée par son premier membre.

Or, la section S des tuyaux est toujours un cercle dans la pratique. On a, par conséquent,

$$S=\frac{\pi D^2}{4}, \quad C=\pi D;$$

et si l'on remplace, dans l'équation (24), S, C, g et π par

leurs valeurs, on obtient, en réduisant,

$$[(H-h'_a)+(m-1)h-ma]=$$
$$0.051\,v^2+0.00137\left(\frac{L+h}{D}\right)(v^2+0.055)\,v \quad (25).$$

Cette équation sera celle qu'il conviendra, en général, d'employer; mais lorsque la vitesse sera grande, qu'elle excédera 0.60, ou même 0.50 seulement, ce qui arrivera dans les puits artésiens abondants, on pourra négliger les variations du terme $0.055\,v$ par rapport à celles de v^2, et supprimer ce terme.

Cependant, comme il en résultera une petite diminution dans la valeur de

$$[(H-h'_a)+(m-1)h-ma],$$

il vaudra mieux, dans ce cas particulier, prendre, au lieu de l'équation (25), la formule suivante, vérifiée par les expériences de Couplet, et dans laquelle l'augmentation que l'on peut remarquer sur le coefficient numérique compensera d'une manière satisfaisante la diminution dont nous parlons.

Cette formule est

$$[(H-h'_a)+(m-1)h-ma]=$$
$$0.051\,v^2+0.001435\left(\frac{L+h}{D}\right)v^2 \quad (26).$$

* 36. Pour obtenir aussi la valeur de

$$[(H-h'_a)+(m-1)h-ma],$$

en fonction de Q, remarquons que

$$Q=Sv=\pi\frac{D^2v}{4},$$

ce qui donne

$$v=\frac{4Q}{\pi D^2},$$

et faisons cette substitution dans l'équation (25), nous aurons, après réduction,

$$[(H - h'_a) + (m - 1)h - ma] = Q^2 \left[\frac{0.08264}{D^4} + \frac{0.002326\,(L + h)}{D^5}\right],$$

d'où

$$Q = 20.73 \sqrt{\frac{[(H - h'_a) + (m - 1)h - ma]D^5}{(L + h) + 35.5\,D}} \quad (27);$$

comme, dans tous les puits artésiens, 35.5 D est très-petit par rapport à $L + h$, nous pourrons supprimer encore cette quantité, et la formule deviendra

$$Q = 20.73 \sqrt{\frac{[(H - h'_a) + (m - 1)h - ma]D^5}{L + h}} \quad (28).$$

L'usage de tous les ingénieurs qui ont des systèmes de conduites à établir est de réduire d'un tiers le coefficient de cette formule, et cet usage est notamment recommandé par M. d'Aubuisson de Voisins dans le chapitre de son ouvrage où il traite du mouvement de l'eau dans les conduites (*). Mais cette réduction tout à fait arbitraire est destinée à donner une latitude et un excédant, et non à rendre le coefficient conforme aux résultats des expériences, puisqu'au contraire c'est des expériences mêmes que le nombre 20.73 est déduit. Comme, cependant, les puits artésiens auxquels nous appliquerons nos formules ne sont tubés que partiellement et doivent présenter des inégalités et des chambres, bien qu'ils aient été rodés avec soin, nous

(*) Voy. le *Traité d'hydraulique* de cet auteur; nous avertissons que les données de notre question nous ont fait représenter par $[(H - h'_a) + (m-1)h - ma]$ et par $L + h$, ce que M. d'Aubuisson de Voisins appelle H et L.

réduirons ce coefficient aux 0.9 de sa valeur, et nous le prendrons, en conséquence, égal à 18.66.

En faisant cette réduction, nous trouverons,

$$Q = 18.66 \sqrt{\frac{[(H - h'_a) + (m-1)h - ma]}{(L+h)} D^5} \quad (29).$$

*37. J'ai également employé l'analyse à déterminer le point où il est convenable de donner l'eau à un récepteur hydraulique, pour obtenir le maximum d'action dynamique. J'avais d'abord résolu cette question par l'expérience directe, lors de la construction de l'usine de M. Champoiseau, et c'est à M. Sagey, ingénieur des mines à Tours, que je suis redevable de l'idée d'y appliquer le calcul.

La formule que je vais exposer est, sans doute, plus compliquée que celle de mon premier mémoire sur les puits artésiens, publié dans le Bulletin de la Société d'encouragement d'avril 1837; mais je m'étais alors borné à traiter le cas particulier où h' pouvait être considéré comme constant. L'expérience m'ayant fait rencontrer, depuis, plusieurs puits très-remarquables, qu'il était intéressant de soumettre au calcul, et dans lesquels cette constance de h' ne se réalisait pas, j'ai dû reprendre la question et exprimer dans la formule la variabilité de cette quantité.

Appelons T l'action dynamique théorique du puits, énoncée en kilogrammètres, nous aurons évidemment $T = 1000\ Q\ h$; et, en remplaçant Q par sa valeur tirée de l'équation (29), nous obtiendrons,

$$T = h \times 1000 \times 18.66 \sqrt{\frac{[(H - h'_a) + (m-1)h - ma]}{(L+h)} D^5} \quad (30),$$

Passant à la différentiation,

$$\frac{dT}{dh}=\left(1000\times18.66\times D^{\frac{5}{2}}\right)\times\frac{1}{2}\left\{\frac{2(H-h'_a)(L+h)h-(H-h'_a)h^2+3(m-1)(L+h)h^2-(m-1)h^3-2ma(L+h)h+mah^2}{[(H-h'_a)h^2+(m-1)h^3-mah^2]^{\frac{1}{2}}}\right\} \quad (31).$$

En égalant à zéro ce coefficient différentiel, pour obtenir les valeurs de h qui conviennent au maximum ou au minimum, nous trouverons, en développant et en réduisant,

$$2(m-1)h^3+[3(m-1)L+(H-h'_a)-ma]h^2+[2(H-h'_a)L-2maL]h=0 \quad (32).$$

On voit d'abord, sans peine, que $h=0$ satisfait à l'équation. Ce résultat pouvait, d'ailleurs, être prévu *à priori* par la seule observation que, quand $h=0$, il n'y a pas de travail, et qu'alors $T=0$; ce qui prouve, en même temps, que cette valeur de h correspond à un minimum de T.

En supprimant ce facteur, on ramène l'équation (32) à la forme

$$2(m-1)h^2+[3(m-1)L+(H-h'_a)-ma]h+[2(H-h'_a)L-2maL]=0 \quad (33),$$

d'où l'on tire

$$h^2+\frac{[3(m-1)L+(H-h'_a)-ma]}{2(m-1)}h+\frac{[(H-h'_a)L-maL]}{(m-1)}=0 \quad (34).$$

$$h=\frac{-[3(m-1)L+(H-h'_a)-ma]\pm\sqrt{[3(m-1)L+(H-h'_a)-ma]^2-16(m-1)L[(H-h'_a)-ma]}}{4(m-1)} \quad (35).$$

Si l'on égalait le coefficient différentiel à l'infini pour trouver les autres valeurs de h qui le font changer de signe, on trouverait, en ordonnant par rapport à h,

$$(m-1)h^3+[(H-h'_a-ma]h^2=0,$$

ce qui donnerait

$$h = 0$$
$$h = 0$$
$$h = -\frac{[(H - h'_a) - ma]}{m - 1},$$

et il est à remarquer que cette valeur de h, mise dans l'équation (30), la réduit à $T = 0$. Ainsi quatre valeurs de h rendent T égal à zéro, et correspondent à un minimum; les deux autres, données par l'équation (35), peuvent seules donner un maximum; encore l'une d'elles ne satisfait-elle qu'à l'analyse; car il est aisé de voir *à priori*, sans entrer, au moyen des méthodes connues, dans une discussion pénible, qu'une seule de ces valeurs peut résoudre la question pratique. Cette valeur est, d'ailleurs, facile à reconnaître : c'est celle qui correspond à la valeur négative du radical. En effet, m étant une fraction numériquement plus petite que 1 (34), $m - 1$ est toujours négatif; il en est de même du dénominateur, par conséquent; comme, de plus, L est toujours fort grand, ou du moins lorsqu'il est fort grand, ce qui arrive dans tous les cas ordinaires dont nous nous occupons,

$$-[3(m-1)L + (H - h'_a) - ma]$$
$$-16(m-1)L[(H - h'_a) - ma]$$

sont, au contraire, des quantités positives. Il en résulte que la quantité comprise sous le radical est numériquement plus grande que celle qui est en dehors. Lors donc que l'on prend la valeur positive de ce radical, on trouve le numérateur positif, et, par conséquent, la valeur de h est négative, ce qui ne peut convenir à la question.

Quand, au contraire, on prend la valeur négative du radical, cette valeur, numériquement plus grande que la quantité qui est en dehors, laisse un excès négatif, qui, divisé par le numérateur négatif, donne pour h une valeur positive.

On remarquera, de plus, que la valeur numérique de cet excès négatif, résultant du terme en apparence négatif,

mais réellement positif $-16(m-1)\,L\,[(H-h'_a)-ma)]$, sera d'autant plus grande que $(H-h'_a)$ sera plus grand ; qu'il en sera de même, par conséquent, de la valeur de h. Or, $H-h'_a$ est la hauteur du niveau de la charge fictive au-dessus du sol (14); par conséquent encore, la valeur de h, convenable pour le maximum du travail dynamique, croît ou décroît à mesure que le niveau de la charge fictive s'élève ou s'abaisse, comme nous l'avons annoncé précédemment (27).

Les formules (26), (29), (30) et (33) sont évidemment moins générales que celles que l'on eût pu obtenir en ne supprimant aucun terme. Il faudrait donc, dans le cas où la vitesse serait fort petite, et dans celui où 35.5 D serait grand par rapport à $L+h$, suivre la marche générale (35) ; mais les expressions, déjà compliquées, le deviendraient beaucoup davantage, et nous avons cru devoir nous borner à exposer les formules qui suffisent dans tous les cas ordinaires : nous en ferons l'application dans le chapitre troisième.

* 38. Bien que tous les phénomènes que nous avons indiqués dans les articles qui précédent, pour les puits des deux catégories, doivent toujours se produire, les variations de h, et, par conséquent, les variations de v et de Q seront d'autant moins sensibles, par rapport à h' et aux vitesses représentées par v', que le puits sera alimenté par une nappe plus puissante.

Il en résulte que, si la grande abondance des eaux souterraines empêche que l'érogation produite par le puits artésien altère sensiblement la vitesse dans les canaux souterrains, les variations que l'on fera subir à h, *pourvu qu'elles soient renfermées dans des limites peu étendues*, laisseront sensiblement constantes les quantités exprimées par h', v', ainsi que le niveau de la charge fictive, par conséquent. Si donc, en jaugeant un puits pour les deux limites extrêmes des valeurs de h (34), on remarque que $(H-h'_a)-(H-h'_b)$ soit sensiblement nul, on peut en conclure que l'abondance de la nappe artésienne est telle, que l'érogation du puits

artésien en altère très-peu le volume, que m est sensiblement égal à zéro, et que, par conséquent, h' est sensiblement constant, du moins, dans les limites entre lesquelles on opère. Il suffira, d'ailleurs, de faire $dh'=0$, et, par conséquent, $m=0$, dans les formules des numéros (34), (35), (36) et (37), pour les rendre applicables à ce cas particulier.

On devra, dans les expériences dont nous parlons, donner au régime le temps de s'établir complétement, car il est bien évident que, si l'on précipitait assez les jaugeages pour que h' et les vitesses représentées par v' n'eussent pas le temps de subir les variations que ces quantités doivent éprouver par suite du changement de hauteur de l'orifice, on tomberait dans une grave erreur en les regardant comme sensiblement constantes.

* 39. La perte de charge h', nécessaire pour faire couler l'eau dans les conduits souterrains et l'amener aux puits artésiens, peut, dans beaucoup de cas, être bien moins considérable qu'on ne serait tenté d'abord de le croire.

En effet, si, pour avoir une espèce de limite inférieure, on suppose que l'eau parvienne au puits par un canal à peu près libre, et exempt de trop grandes irrégularités ; que l'on appelle

h' la perte de charge,

L_c la longueur de ce canal,

C_c son périmètre moyen,

S_c sa section moyenne,

V_c sa vitesse moyenne,

et que l'on fasse,

$L_c = 200{,}000$ mètres (20 myriamètres),

$C_c = 200$ mètres à cause des obstacles, des irrégularités, etc.

$S_c = 10$ mètres,

La vitesse nécessaire pour alimenter un puits artésien, fournissant 20 litres par seconde, sera

$$V_c = 0.002.$$

Ces nombres substitués dans la formule connue

$$h' - \frac{V_c^2}{2g} = 0.0003425 \frac{C_c L_c}{S_c} (V_c^2 + 0.055 V_c)$$

donneront

$$h' = 0^m.156.$$

Sans doute, il faudrait aussi tenir compte de la charge nécessaire pour vaincre les petits chocs et les contractions que l'eau doit éprouver; mais il est impossible, faute de données, d'en établir le calcul : toujours est-il qu'à cause de la petitesse de la vitesse, ces pertes seront faibles, si le canal est à peu près libre; et que, quand on doublerait, quand on triplerait la valeur que nous venons de trouver, elle n'en serait pas moins une quantité fort petite.

Au reste, à partir de cette limite, h' peut croître indéfiniment à mesure que la section diminuera, et que le périmètre, la longueur et la vitesse augmenteront, surtout si les passages sont obstrués par des sables ou par des terres.

Avec les nombres qui précèdent et une vitesse décuple, ou de $0^m.020$, on aurait :

$$h' = 2^m.055,$$

quantité encore assez peu considérable. Si elle possédait cette vitesse, l'eau parcourrait les vingt myriamètres en moins de quatre mois.

40. La grande étendue des ramifications souterraines qui amènent l'eau vers un puits artésien doit, lorsque l'on change le niveau de l'orifice d'écoulement, rendre l'établissement du nouveau régime d'autant plus long, que la variation de la vitesse dans les canaux souterrains est plus considérable.

C'est ce que confirme, avec la dernière évidence, une expérience remarquable faite chez M. Champoiseau. Après avoir laissé le régime s'établir complétement, pour un orifice situé à $0^m.50$ au-des-

sus du sol, et dont la charge fictive était de $0^{m}.96$, on porta brusquement cet orifice à $5^{m}.25$ plus haut. L'écoulement cessa sur-le-champ, et reprit ensuite graduellement, mais le régime nouveau ne fut complétement établi qu'au bout de cinquante-quatre heures.

Ce fait, sur lequel nous reviendrons plus loin (56), donne la mesure des précautions que l'on doit prendre dans de semblables expériences, et s'explique très-facilement. En effet, lorsque l'on a laissé un puits artésien déverser ses eaux par un orifice quelconque pendant un temps suffisant pour rendre le régime permanent, que l'on ferme cet orifice, et que l'on en ouvre aussitôt un autre plus élevé que le niveau actuel de la charge fictive, l'écoulement doit nécessairement être arrêté. Mais sa suppression, en entraînant celle des résistances opposées au mouvement par les parois des cavités souterraines, diminue h', élève le niveau de la charge fictive, et permet la reprise de l'écoulement qui croît ensuite graduellement jusqu'à ce que le nouveau régime soit établi.

41. Le même phénomène se fait sentir d'une manière qui paraît tout à fait paradoxale, lorsque le nouvel orifice n'a pas été élevé autant que nous venons de le dire et qu'on l'a ouvert encore au-dessous du niveau actuel de la charge fictive. On remarque alors, en faisant deux jaugeages, l'un sur-le-champ, l'autre après l'établissement du nouveau régime, que le premier jaugeage donne un produit moins considérable que le second. Ce fait

bien constant et bien vérifié paraît contradictoire avec toutes les lois de l'hydraulique, puisqu'il semble que la vitesse acquise pendant le régime précédent, où la dépense était plus forte que dans le régime actuel, doive faire trouver la différence dans le sens inverse. Cette anomalie apparente s'explique cependant tout naturellement, si l'on remarque que la vitesse acquise dans le puits artésien est presque toujours au-dessous d'un mètre, et, par conséquent, a pour charge génératrice, au plus 0^m, 051 ; que même la vitesse dans les canaux souterrains et sa charge génératrice sont moindres encore. Mais, dans les expériences, on franchit ordinairement un demi-mètre, au moins, quand on passe d'un orifice à un autre, et l'on ajoute ainsi à la longueur de la colonne d'ascension une charge plus considérable que celle que représentait la vitesse acquise, dont on annihile tout à coup l'effet. L'écoulement doit donc diminuer subitement; mais, par l'effet de son ralentissement, la vitesse dans les canaux souterrains diminue, ainsi que la valeur de h', fonction de cette vitesse; le niveau de la charge fictive s'élève donc comme nous l'avons dit précédemment, et cette élévation n'influant que graduellement sur le mouvement de la masse liquide, il est évident que l'augmentation de dépense doit être progressive jusqu'à l'établissement complet du nouveau régime.

42. Ce sont probablement ces phénomènes qui ont fait naître à Tours, parmi les possesseurs de puits artésiens, une opinion maintenant très-accréditée; tous ou presque tous sont persuadés que les expé-

riences et les changements de régime qui en sont la suite affaiblissent le produit et nuisent extrêmement à sa conservation. Je pense que, quand on change le régime sans secousse, cette opinion n'est pas exacte, et, selon toutes les apparences, elle n'a trouvé créance qu'à cause de la diminution momentanée dont nous venons de parler, diminution très-sensible quand on n'attend pas un temps assez long pour laisser le régime se rétablir. J'aurais désiré confirmer cette opinion par des recherches et par des essais, mais on comprend qu'il n'est pas facile de déterminer les propriétaires à des expériences qu'ils regardent comme très-nuisibles. Je vais, du moins, la motiver sur quelques réflexions.

La longueur considérable du rétablissement du régime (40) a dû souvent alarmer des observateurs inquiets déjà par avance, et lorsque, après quelques heures ou même un jour entier d'attente, ils ont vu le volume de l'eau qui coulait dans leur canal de fuite, sensiblement moindre qu'il ne l'était auparavant, ils ont dû conclure que les perturbations produites par les expériences avaient été préjudiciables aux produits de leurs puits. Le régime s'est bien ensuite rétabli par degrés longs et tout à fait insensibles, mais l'impression était reçue; les mesures exactes qui auraient pu l'effacer, par la comparaison du résultat actuel et du résultat ancien, n'avaient presque jamais été prises, et l'opinion du dommage causé par les changements de régime a dû trouver crédit. Je la regarde, je le répète, comme un préjugé, mais j'avoue aussi que je n'ai recueilli aucun fait positif d'observation à

l'appui des raisonnements que je viens de faire.

43. Nous allons maintenant approfondir entièrement la question des diminutions remarquées dans le produit des puits artésiens.

Les causes de ces fâcheux résultats peuvent agir soit simultanément, soit séparément, mais elles semblent devoir être toutes comprises dans l'énumération suivante :

1° Les déperditions souterraines ;
2° L'influence des puits voisins les uns sur les autres ;
3° L'épuisement des sources artésiennes ;
4° L'ensablement ou l'obstruction des sondages.

44. Je n'ai rien à ajouter à ce que j'ai dit (31 et 32) des déperditions souterraines, et les lois immuables de l'hydraulique sont pleinement confirmées par tous les faits observés.

45. Quant à l'influence que les puits voisins exercent les uns sur les autres, on peut remarquer que la communication, ordinairement insensible d'abord, n'a lieu, lorsqu'elle devient appréciable, qu'à travers un fort amas de pierrailles ou d'obstacles assez nombreux pour que la résistance qui s'oppose au passage d'une grande quantité d'eau soit équivalente à la pression d'une charge assez considérable. Cette communication devient d'ailleurs progressivement d'autant plus facile que les interstices des pierrailles se déblayent davantage par le mouvement du liquide; et, par conséquent, la réaction des deux puits l'un sur l'autre, surtout lorsqu'ils versent leurs eaux à des hauteurs différentes, doit s'accroître progressivement. Il en ré-

sulte que le voisinage d'un puits artésien qui débouche à une moindre hauteur devient de plus en plus nuisible aux produits des puits dont les eaux doivent être élevées davantage. Il en résulte encore que la proximité d'un puits mal tubé et soumis à des déperditions souterraines doit être d'abord nuisible et même ensuite fatale aux puits voisins les mieux construits.

On conçoit, au reste, que l'influence réciproque doive varier selon les circonstances et la résistance du terrain intermédiaire. Souvent elle est d'abord à peu près nulle, ainsi qu'il est arrivé pour les puits de M. Champoiseau et de M. Tessier (55); mais bientôt les dépôts fins et les sables légers sont entraînés; la communication devient facile, et la solidarité s'établit. Alors, s'il ne restait entre les extrémités inférieures des deux sondages aucun obstacle à la libre communication, et que les eaux ne fussent pas déversées à la même hauteur, celui des deux puits dont l'orifice serait le plus élevé ne fournirait pas une seule goutte d'eau, à moins que la nappe ne fût très-abondante par rapport au volume dépensé par les deux puits, et que le niveau de la charge fictive, éprouvant seulement une variation peu sensible (38), ne restât supérieur à celui de l'orifice le plus élevé (*).

(*) Je ferai remarquer qu'à cause de cette solidarité des puits voisins, les tentatives qui ont été faites pour obtenir un grand volume d'eau, par l'ouverture de plusieurs puits, n'ont pas donné tous les résultats espérés, et que l'augmentation de produit n'a pas été, à beaucoup près, proportionnelle au nombre des sondages. Je citerai notamment une

Il est, d'ailleurs, évident que l'influence des puits voisins, les uns sur les autres, ne doit pas toujours être en raison inverse de la distance intermédiaire. Deux puits, même éloignés de cent ou deux cents mètres, peuvent réagir l'un sur l'autre, s'ils sont alimentés par une ramification souterraine très-peu obstruée. On sait que l'existence desemblables ramifications est solidement prouvée, et l'on peut consulter à cet égard l'ouvrage de M. le vicomte Héricart de Thury, et la Notice que M. Arago a insérée dans l'annuaire du bureau des longitudes pour 1835. Aux considérations et aux observations que l'on trouvera consignées dans ces deux ouvrages, nous ajouterons l'existence de cailloux roulés que la sonde a retirés, avec quelques lignites, d'une profondeur de 166 mètres, chez M. Champoiseau. Nous nous regardons, à la vérité, comme tout à fait incompétent pour discuter, sous le rapport géologique, l'importance de l'existence de ces cailloux roulés; mais il nous semble qu'ils peuvent très-bien avoir été amenés par les eaux dans de semblables ramifications.

46. On entend souvent demander si l'épuisement des nappes artésiennes est possible, et je pense qu'en général on ne peut faire à cette question d'autre réponse que *oui* et *non*. En effet, un puits de quelques mètres de profondeur, foré sur une nappe superficielle et circonscrite dans un petit

entreprise de ce genre, dans laquelle le travail dynamique du premier et du second puits réunis n'est que comme 3 : 2 à celui que donnait le premier seul.

vallon, doit souffrir des alternatives de sécheresse et d'humidité; tandis que, pour les puits très-profonds, entretenus par des nappes puissantes, par exemple, par celles qui se trouvent sous la grande masse de craie, la théorie qui précède doit fournir, au moins, des présomptions fort tranquillisantes. L'eau ne peut effectivement surgir abondamment à de très-grandes distances qu'en parcourant des canaux peu obstrués et d'une grande section : de petites rigoles et, à plus forte raison, de simples filtrations exigeraient une charge énorme, et l'on peut aisément s'en convaincre, en jetant les yeux sur les formules du mouvement de l'eau dans les conduites, lesquelles formules ne supposent même aucune inégalité, aucune obstruction, aucune perte de vitesse par les chocs. Des canaux aussi grands et aussi étendus sont donc, pour ainsi dire, de véritables rivières souterraines largement alimentées. Je ferai, d'ailleurs, observer que le rétablissement du puits de M. Champoiseau (54), et sa richesse actuelle à côté des puits presque taris de M. Tessier, démontrent victorieusement que les diminutions remarquées à Tours ne doivent pas être attribuées à cette cause. Il semble même impossible de concevoir un doute, lorsque l'on considère que plusieurs puits ont donné, dans les premiers temps de leur construction, de très-beaux résultats, quoiqu'ils fussent assez proches de ceux qui s'anéantissaient, et qu'ils puisassent dans les mêmes couches géologiques.

Cependant, si un sondage atteignait une masse d'eau, résultat de l'accumulation de filtrations sé-

culaires, mais dépourvue de sources alimentaires, on ne peut nier que le puits artésien ne dût subir une diminution graduelle terminée par un épuisement total et irrémédiable. Nous nous faisons un devoir de mentionner cette chance fâcheuse, mais nous sommes persuadé qu'elle est infiniment rare.

47. Enfin la possibilité des ensablements mérite une sérieuse attention. Nous convenons d'abord que, dans les puits qui ne sont pas tubés ou qui ne le sont qu'imparfaitement, des masses de pierres et d'argiles peuvent se détacher des parois; que des éclats de roches ou de plaquettes brisées par la sonde peuvent s'engager dans le passage, et y occasionner des étranglements très-préjudiciables : aussi, bien que, dans plusieurs puits affaiblis de Tours, le passage d'une sonde se soit effectué avec facilité, et n'ait été suivi d'aucune augmentation de produit, dans d'autres, au contraire, cette opération a suffi pour ramener immédiatement une petite partie des eaux qui avaient été perdues(32).

Comme, d'ailleurs, cette cause de diminution n'existe pas pour les puits tubés dans toute leur étendue, et que ces puits sont les seuls que nous regardions comme bien construits, nous ne nous occuperons pas davantage de ceux qui le sont mal, et nous accorderons tout ce que l'on voudra sur le danger de leur ruine. Discutons donc la probabilité du décroissement par suite de l'ensablement proprement dit.

48. Nous ne pouvons admettre cette cause de diminution dans les circonstances ordinaires. En effet, supposons un résultat de beaucoup supérieur

à ceux que l'on a obtenus jusqu'à présent, par exemple, une vitesse de 2 mètres dans un tube artésien de 0m.30 de diamètre; le puits donnerait, par minute, 8.478 litres, ou, par seconde, 141.3.

Or il suffirait que la nappe eût 0m. 2 d'épaisseur pour que, à 2m.80 de distance du centre du tube (la cavité étant supposée seulement à moitié vide et déblayée par le rejet des sables), la vitesse ne fût plus que 0.08 par seconde, et il résulte des expériences de Dubuat qu'une semblable vitesse ne peut entraîner, sur un plan horizontal, que l'argile fine, propre à la poterie; le sable fin n'est déplacé que par une vitesse de 0m.16.

Lors donc que les canaux alimentaires sont délivrés de la grande quantité de sable très-fin que l'eau des puits artésiens ramène toujours d'abord, quand le sondage atteint une couche de cette matière, il n'est pas supposable que le flux de l'eau vers le puits continue d'y amener de nouveaux sables, et finisse par l'obstruer. Sans doute, il peut se rencontrer des circonstances où il s'opère, vers le fond du sondage, des amoncellements de graviers, ou même des éboulements continuels causés par la pente de la couche aquifère, ou par quelque autre disposition défavorable; mais ces cas fâcheux doivent être de rares exceptions.

S'il en était autrement, la ruine prompte des puits artésiens serait inévitable, ou, du moins, il serait nécessaire de les désobstruer fréquemment : or nous savons qu'il en existe dont les eaux coulent avec abondance depuis plusieurs siècles, sans que jamais semblable réparation ait été nécessaire,

et nous avons constaté, jusqu'à l'évidence, l'existence des pertes souterraines. Nous sommes donc en droit d'attribuer à ces pertes les diminutions que nous regrettons, jusqu'à ce qu'un puits bien étanche et tubé parfaitement jusqu'à la première source ascendante nous ait démontré, en se tarissant, que l'ensablement est inévitable.

D'ailleurs, la vitesse du fluide, dans la partie régulière de certains puits artésiens nouvellement construits, a été assez grande pour que des objets métalliques fussent chassés avec violence lorsqu'on les jetait dans le tube; le puits de la caserne de cavalerie, à Tours notamment, a rejeté des morceaux de grès vert équivalant en volume à des cubes de $0^{m}.025$ de côté, et même a repoussé des boulets. Il était donc impossible que ce puits, aujourd'hui presque complétement tari, fût obstrué par des sables ni même par des graviers, et ce n'est pas à une cause de cette nature qu'il faut en attribuer le décroissement.

49. Pour résumer cette discussion, nous dirons donc que, si l'on ne peut nier que l'épuisement des nappes alimentaires et l'obstruction des sondages ne soient quelquefois la cause du décroissement et de l'anéantissement des puits artésiens, ces déplorables résultats, dans les circonstances géologiques favorables, sont les conséquences inévitables d'un tubage imparfait, ou du voisinage des puits mal construits.

De là ressort évidemment la nécessité d'un tubage complet, et, par conséquent, celle de la

conservation de ce tubage. Nous renverrons nos lecteurs à ce que M. le vicomte Héricart de Thury a dit de cette opération et de la nature des tubes, dans son second rapport imprimé en tête de cet ouvrage. Nous ajouterons que M. Bretonneau, docteur en médecine à Tours, ayant fait extraire les tuyaux d'un puits artésien construit depuis quelques années, a reconnu un phénomène très-remarquable.

Ces tuyaux, d'environ 9 millimètres d'épaisseur, en fer battu, ont éprouvé des perforations locales tout à fait circonscrites, comme celles qu'aurait produites un emporte-pièce. Une, surtout, est d'autant plus digne d'attention, qu'elle se trouve à l'extrémité d'un tuyau très-sain, et à la jonction de ce tuyau avec un autre. Sans aucun doute, le défaut d'homogénéité chimique du fer a occasionné la formation de petites piles voltaïques, à l'un des pôles desquelles s'est portée l'oxydation. La fonte éprouvera très-probablement aussi cet inconvénient, mais plus lentement, à cause de sa plus grande épaisseur (*).

(*) Au moment où cette feuille allait être mise sous presse, j'ai reçu le numéro des annales des ponts et chaussées, pour juillet et août 1839, et j'y ai trouvé, page 131, une note sur les causes probables de l'affaissement de la neuvième et de la dixième pile du pont de Tours en 1835. L'auteur attribue la dégradation du pont à l'influence des puits artésiens qui ont été creusés dans la ville. Cette opinion a d'autant plus d'importance qu'elle émane d'un ingénieur en chef distingué, mais possesseur de renseignements inexacts, et qu'elle est renfermée dans un recueil grave et à peu près officiel. Je la combattrai dans la note deuxième, à laquelle je prie instamment le lecteur de se reporter. Je discuterai aussi, dans la note troisième, les cas où il existe une relation entre les crues des rivières alimentaires et les variations des produits des puits artésiens.


BIBLIOTECA NAZIONALE VITTORIO EMANUELE III

les P

Nos d'ordre	DESIGNATION des Puits.	DIAMETRE intérieur. D	EUR E e. h	PR par 1(	ns.
		m.		lit	
1	Ancien puits de M. Champoiseau.	0 140	04	18	
2			81	17	
3			57	15	
4			35	13	
5			12	11	
6			04	17	
7			04	9	
8			98	5	
9			98	5	

CHAPITRE III.

APPLICATIONS ET CONSÉQUENCES DE LA THÉORIE GÉNÉRALE.

50. Pour appliquer les principes généraux que j'ai exposés dans le chapitre précédent à des résultats qui pussent à la fois les vérifier, les développer et les éclaircir, j'ai choisi, parmi les minutes des expériences que mes travaux m'ont permis de recueillir, toutes celles qui formaient des séries continues, ou qui présentaient des conséquences remarquables. Quoique j'aie dû nécessairement en écarter plusieurs qui, faites dans un but purement industriel, n'étaient d'aucun intérêt scientifique, le nombre et la variété de celles que j'ai exposées me semblent suffire pleinement pour satisfaire les personnes qui demandent à comparer la théorie avec la pratique.

Les résultats de ces expériences sont tous consignés dans le tableau que j'ai annexé à ce numéro; mais, avant de les discuter, je dois entrer dans quelques détails préliminaires.

51. Ce fut en 1830 que M. Degousée termina, à Tours, le premier puits foré de cette ville, celui de la place Saint-Gatien. La quantité d'eau obtenue (30 litres par minute) ayant, ainsi que je l'ai dit (6), été regardée comme un résultat fort avantageux, l'administration municipale de la ville se détermina aussitôt à faire de nouveaux efforts. Les

produits des puits qui furent forés, en conséquence de cette détermination, suivirent une marche ascendante, dont les progrès sont retracés dans les tableaux des pages 9 et 10. L'abondance de celui de la caserne de la cavalerie, achevé en octobre 1833, ayant outre-passé toutes les espérances et fait voir que l'industrie pouvait trouver, dans les puits artésiens, des moteurs précieux, M. N. Champoiseau, négociant aussi distingué par ses connaissances que par son amour du bien public, résolut de frayer la voie, et de doter le département d'une nouvelle richesse qui, pendant longtemps encore, eût pu rester négligée, s'il n'eût donné cet exemple : il fit donc forer, pour la mise en mouvement de sa filature de soie, un puits artésien dont le succès fut très-brillant, et sur lequel je reviendrai un peu plus loin. Je puis, avec d'autant plus de connaissance, lui rendre témoignage sur les motifs de son entreprise, qu'appelé par lui, à cette époque, pour construire le récepteur hydraulique de son usine, je combattis ce projet. M. Champoiseau me dit qu'il connaissait les inconvénients de sa tentative, qu'il pouvait s'y soumettre, et qu'il le voulait pour rendre un service au pays. Le puits a donc été foré, les machines construites et mises en mouvement à la satisfaction de leur propriétaire (*).

(*) Ces faits sont signalés dans les mémoires que j'ai présentés à la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, et dans les rapports de M. le vicomte Héricart de Thury, imprimés au commencement de cet ouvrage.

L'impulsion donnée en Touraine à la mise en usage des puits artésiens se communiqua rapidement, et de nombreux sondages furent exécutés.

52. Malheureusement, les produits de ces sondages ne se sont pas soutenus, et n'ont fourni bientôt que trop d'occasions d'appliquer la théorie que j'ai exposée sur leur décroissement. Il était donc à craindre que, malgré la possibilité d'éviter à l'avenir ce grave inconvénient, le découragement ne fit abandonner pour toujours dans le pays ces sortes d'entreprises, et même ne se propageât beaucoup plus loin. M. Champoiseau, dont le puits avait subi le sort général, prit alors la courageuse résolution. de prouver qu'il était possible de rétablir le produit presque anéanti d'un puits artésien, et il en a fourni une démonstration victorieuse par les résultats consignés dans le tableau du n° 50; il a prouvé en même temps le peu de fondement des craintes que l'on témoignait sur l'épuisement des nappes aquifères, et, après avoir donné l'exemple à l'industrie manufacturière, il lui a encore appris comment on répare un échec.

La courageuse persévérance qu'il a déployée dans son entreprise ne le cède donc en rien au patriotisme qui la lui avait fait tenter.

53. Toutes les expériences insérées dans le tableau du n° 50 résultent de jaugeages faits avec soin; la plupart ont eu lieu en public, les autres en présence de plusieurs témoins.

Cependant celles qui ont été faites par séries, à différentes hauteurs, ont malheureusement été

plus ou moins précipitées. On savait bien qu'il fallait attendre l'établissement du régime, et l'on cherchait à se conformer à cette prescription de l'hydraulique; mais la longueur de l'accomplissement de cette condition et la grande durée du temps pendant lequel le régime ne varie que par degrés peu sensibles (40) font maintenant reconnaître que l'attente n'a pas été assez longue. A la vérité, comme on ne franchissait, en passant d'une expérience à la suivante, que des intervalles beaucoup moindres que ceux dont il sera parlé dans le tableau du n°(56), les erreurs ne sont pas d'une grande gravité, si ce n'est, comme nous allons le dire, pour le puits de la caserne de cavalerie.

Comme, d'ailleurs, on commençait toujours le jaugeage par l'orifice le plus bas, pour passer de là successivement aux orifices plus élevés, les expériences qui concernent ces derniers orifices doivent donner des produits un peu trop faibles.

Cette remarque est confirmée par la série la plus irrégulière de toutes (*), celle des expériences faites, le 14 octobre 1833, sur le puits de la caserne de cavalerie (n°s 15, 16, 17 et 18 du tableau); on y

(*) Si cette série est plus inexacte que toutes les autres, ce n'est pas que les expérimentateurs aient procédé avec moins d'attention et de désir de bien faire; mais les espaces franchis d'un seul coup étant beaucoup plus considérables, comme on le voit aisément en jetant un coup d'œil sur le tableau, le temps accordé pour l'établissement du régime eût dû être beaucoup plus long.

voit que le niveau de la charge fictive, au-dessus de l'étiage, pour les expériences (15) et (18), est beaucoup plus élevé que ne l'indique la marche des résultats des expériences (16) et (17).

Or ces deux dernières expériences, faites à des intervalles très-rapprochés, ont donné des produits trop faibles, et, par conséquent, la charge fictive, calculée d'après ces produits, a été trouvée trop petite. Au contraire, le régime était assez bien établi quand on a commencé la série par l'expérience (15), et, lorsque l'on a voulu procéder à l'expérience (18), l'eau n'a pas d'abord atteint l'orifice; ce n'est qu'après une longue attente qu'elle y est parvenue. Alors elle a commencé à couler, pour ainsi dire, goutte à goutte; puis le produit a éprouvé quelque accroissement. Il était néanmoins si faible, que je l'ai considéré comme nul, et que, par conséquent, j'ai supposé nulle la charge fictive, et pris la hauteur h de l'orifice pour son niveau.

La série n'a pas été poussée plus loin, parce que l'orifice était alors à la hauteur des toits voisins, et qu'il eût fallu construire un échafaudage pour l'élever davantage; mais tous les expérimentateurs ont été unanimes pour croire qu'en prolongeant le tube d'ascension et en attendant un temps suffisant on eût pu élever l'eau encore un peu plus haut.

Quoi qu'il en soit, la durée forcée de cette dernière expérience, ayant été beaucoup plus longue que celle des précédentes, avait permis au régime de s'établir plus exactement, et a donné, par con-

séquent, pour le niveau de la charge fictive, un résultat plus fort, qui parait anomal, mais qui est, en réalité, plus exact que ceux dont il est précédé.

J'ai rapporté, dans le tableau du n° 30, le niveau de tous les puits à l'étiage de la Loire au pont de Tours, pour donner un moyen de comparer entre elles les élévations des différents points que j'ai cités. Le choix de ce repère m'a paru le plus convenable, quoiqu'il m'ait forcé de m'écarter des usages du nivellement, où l'on prend ordinairement le repère général assez élevé pour que toutes les cotes croissent positivement à mesure que les points cotés s'abaissent. Le contraire aura lieu dans nos calculs ; ce qui, du reste, ne présente aucun inconvénient.

La longueur totale $L + h$ du tube artésien a toujours été comptée à partir du fond du sondage. A la vérité, il existe, pour chaque puits, plusieurs nappes situées à différentes profondeurs, et il semble d'abord qu'il eût fallu en prendre le niveau moyen ; mais, outre que les renseignements m'eussent tout à fait manqué pour le faire, j'ai dû considérer que toutes celles de ces nappes qui ont quelque importance sont très-rapprochées du fond du puits, et que la plus profonde est même presque toujours infiniment supérieure aux autres par le volume qu'elle fournit. La différence est donc absolument négligeable.

La charge fictive a été calculée au moyen de la formule (29), exposée n° 36, où

$$[(H - h'_n) + (m - 1) h - ma]$$

n'est autre que $(H - h - h')$ de la formule générale (9).

Les observations thermométriques, ayant été faites avec des instruments d'une bonne qualité du commerce, présentent une exactitude assez approximative, mais que l'on ne doit pas assimiler à celle qui résulterait de recherches de précision.

Je vais maintenant entrer dans des détails sur chacun des puits qui figurent au tableau.

54. *Détails sur le puits de M. Champoiseau, à Tours.*

Ce puits verse ses eaux sur une roue hydraulique à augets de 6 mètres de diamètre, et meut différentes machines destinées à la filature de la soie; il a été achevé dans le commencement de juillet 1834, et soumis, le 17 du même mois, aux expériences dont les résultats se trouvent rapportés au tableau sous les numéros d'ordre 1, 2, 3, 4, 5.

Depuis, il a été l'objet de plusieurs autres expériences relatées au même tableau, sous les numéros d'ordre 6, 7, 8, 9.

Les diminutions progressives indiquées par ces expériences ayant poursuivi leur cours et réduit encore de beaucoup le produit de ce puits, M. Champoiseau en entreprit la réparation, et résolut en même temps d'en augmenter la profondeur et le diamètre. M. Mulot, auquel fut confiée cette réparation, plus difficile assurément qu'une construction neuve, dut d'abord extraire 31 mètres de tuyaux de fonte, bien scellés par du béton hy-

draulique, et un ciseau en fer de grande dimension qui, lors du premier sondage, s'était brisé au fond du puits, sans que l'on pût alors l'en retirer, ce qui avait empêché de poursuivre la perforation.

L'habileté de M. Mulot ayant triomphé de tous ces obstacles, le puits a été creusé jusqu'à 157 m. 64 c. au-dessous de l'étiage de la Loire, et a reçu un diamètre de $0^{m}.277$. Les eaux perdues ont été non-seulement recouvrées, mais ont encore éprouvé une grande augmentation.

On trouvera, dans le tableau, les détails qui se rattachent à ce puits, dans ses deux états, et les résultats qu'il a fournis (50).

55. M. Tessier de Tours, ayant fait forer, dans le voisinage des puits de M. Champoiseau, un autre puits terminé à la fin de 1834, on voulut s'assurer s'il n'existait pas de communication entre les deux sondages qui, selon le plan cadastral, ne sont séparés que par une distance de 50 mètres environ. On était alors au commencement de 1835, et, soit que le puits de M. Tessier versât l'eau au sol, soit qu'il la versât à $5^{m}.40$ plus haut, le produit du puits de M. Champoiseau, quoique ayant subi déjà une diminution très-appréciable, n'était nullement influencé de ces variations dans la hauteur de l'orifice de déversement chez M. Tessier. La communication fut donc alors regardée comme complétement insensible. Mais il n'en était plus de même le 20 janvier 1837, et il suffisait de faire couler l'eau au niveau du sol chez M. Tessier, pendant que le puits de M, Champoiseau versait


BIBLIOTECA NAZIONALE VITTORIO

Tableau de la durée d… ment

DATES.	…UR … puits au-sol.
Du 10 au 15 mai 1830	…0
20 mai, 8 » du matin.	
— 2 » du soir.	
— 6 » — .	
21 mai, 8 » du matin.	
23 mai, 1 » du soir.	75
— 2 » — .	
— 3 » — .	
— 4 » — .	
— 6 » — .	
2 août.	»
21 septembre.	

79·

ses eaux sur la roue à augets de la filature, pour réduire presque à zéro le produit déjà considérablement affaibli de ce dernier.

Les deux puits, autrefois si indépendants l'un de l'autre, étaient donc alors devenus solidaires.

Aujourd'hui, le rétablissement de celui de M. Champoiseau a donné à leur relation une nouvelle évidence. Les puits de la tour Charlemagne, et celui de la caserne d'infanterie, quoique situés à une distance de 200 mètres au moins, éprouvent même un peu l'influence de ces variations.

56. Les expériences faites après la restauration dont nous venons de parler ont donné lieu à des remarques qui confirment pleinement ce que nous avons dit (40) et (41) de la longueur de l'établissement du régime des puits artésiens.

Lorsque l'on a voulu faire monter, dans le réservoir situé au-dessus de la roue, l'eau dont le déversement se faisait depuis longtemps à la hauteur du sol, et qui, par conséquent, avait acquis un régime bien fixe, l'écoulement a été d'abord complétement arrêté ; peu à peu il a reparu, mais il n'a atteint son nouveau régime qu'au bout de cinquante-quatre heures (*), ainsi que le fait voir le tableau que nous annexons à ce numéro.

(*) M. Champoiseau était alors à Paris, et, dans la première expérience qui fut faite par les personnes de sa maison et par le contre-maître sondeur, les observateurs perdirent courage presque aussitôt, démontèrent l'appareil, et écrivirent ce fait à M. Champoiseau, qui vint me trouver sur-le-champ. Ce phénomène m'engagea à reprendre l'exa-

Pour l'intelligence de ce tableau, nous devons faire observer que le jaugeage se faisait au moyen d'un barrage, au milieu duquel était pratiqué un orifice vertical rectangulaire en mince paroi. Le seuil de ce barrage est à plus de 15 centimètres au-dessus de la surface du liquide dans le canal de fuite, cette chute ayant été réservée lors de la construction de la roue, dans la prévision d'un exhaussement du pavage de la rue où viennent se jeter les eaux. Les deux côtés du barrage sont isolés du fond et des parois du canal rectangulaire où est établi le petit déversoir. Le barrage, formé d'une plaque scellée avec du ciment romain dans les murs latéraux du canal, est parfaitement étanche. En mesurant donc la charge sur le seuil, on a pu obtenir tous les documents nécessaires pour le jaugeage, et les valeurs de cette charge sont exposées dans le tableau que nous donnons.

On remarquera que ces valeurs sont celles de la charge complète, mesurée par la différence qui

men de la théorie dans toute sa généralité ; et je parvins aux nouvelles formules que j'ai exposées, et qui sont beaucoup plus complètes que celles qui se trouvent dans les mémoires que j'ai présentés à la Société d'encouragement : ces dernières étaient soumises à des restrictions que j'avais, à la vérité, signalées, mais sans essayer de les lever, parce que je ne possédais pas de faits pratiques qui pussent confirmer une théorie tout à fait générale, et que l'expérience doit toujours, à mon avis, sinon précéder, du moins accompagner l'analyse, dans les recherches physico-mathématiques.

existait entre le niveau du seuil du barrage et celui de la surface fluide, avant que cette surface ne se fût infléchie par l'effet du voisinage de l'orifice.

57. Le niveau de la charge fictive, malgré l'augmentation du produit, mais à cause de l'augmentation du diamètre, s'est abaissé sensiblement (28).

Aucune diminution ne s'est manifestée depuis l'achèvement de la réparation. Au contraire, le produit, ainsi qu'il résulte de la comparaison des expériences (11) et (13) du tableau, a éprouvé, depuis le 21 mai 1839 jusqu'au 21 septembre 1839, une augmentation due, sans doute, à ce que les ramifications souterraines alimentaires se sont déblayées par l'entraînement des sables fins.

La première source ascendante, fournissant dix litres par minute, a été trouvée à 106 mètres en contre-bas de l'étiage de la Loire.

58. *Détails sur le puits de la caserne de cavalerie, à Tours.*

Ce puits, terminé dans les premiers jours d'octobre 1833, a été soumis aux expériences dont les résultats sont exprimés dans le tableau (50), sous les numéros 15, 16, 17, 18, 19 et 20. Le décroissement, qu'il est facile de remarquer, ayant encore empiré progressivement depuis le 31 décembre 1836, date de la dernière de ces expériences, en a maintenant presque anéanti le produit.

Ses eaux, pures et salubres comme celles de tous

les autres puits de Tours, ont pour température 17° 50 centigrades.

On a remarqué sur ce puits la longueur nécessaire pour l'établissement du régime, et la durée des expériences a été beaucoup trop courte. Au reste, cette trop grande rapidité a été mentionnée dans le rapport fait à M. le maire de Tours, par M. Chauveau, architecte-voyer de la ville. Ce rapport exprime qu'en attendant plus longtemps on eût obtenu certainement une ascension plus considérable. En se pressant ainsi, les expérimentateurs avaient, d'ailleurs, pour motif le désir de ne pas retenir, pendant plusieurs jours, les personnes notables qui assistaient au jaugeage, et d'énoncer plutôt des résultats inférieurs à la réalité que des résultats exagérés. Cette brièveté, au lieu d'être une inexactitude, était donc réellement un acte de désintéressement dans des recherches qui avaient pour but principal une livraison industrielle.

On a terminé le tube artésien par des ajutages percés en mince paroi, et l'eau s'est élevée en jet, le 14 octobre 1833, aux hauteurs exprimées ci-après ;

	ASCENSION DU JET.	
	AU-DESSUS DU SOL.	AU-DESSUS DE L'ORIFICE.
Pour un orifice de 0m. 060 de diamètre. .	3m.50	1m.70
— — de 0m. 034 — . .	8. 30	5. 50
— — de 0m. 011 — . .	11. 70	8. 80

Le diamètre de ce puits n'est pas uniforme dans toute son étendue : sur une longueur de 91m.28, il est de 0m.105 : mais au-dessous, il est réduit à 0m.090. Le nombre 0.100 que j'ai exprimé dans le tableau est une valeur moyenne, déduite *d'une règle d'alliage.*

La partie tubée a seulement 28m.25 de longueur.

59. *Détails sur les puits de M. Lecomte-Petit, à la Ville-aux-Dames, près de Tours.*

Ces puits, très-voisins, sont situés dans la commune de la Ville-aux-Dames, à une lieue de Tours, à l'est; ils sont au nombre de trois.

Le premier, selon l'ordre des dates de leur construction, n'a donné que des résultats insignifiants; mais aussi sa profondeur n'était que de 54m.87 au-dessous de l'étiage de la Loire. Le sol est à 4m.57 au-dessus, et le puits jaugé à 5m.01 plus haut, ou à 9m.58 au-dessus de l'étiage, a donné, le 27 janvier 1837, seulement 2 litres 71 par seconde. Le diamètre intérieur de ce puits est 0m.160, et il est tubé dans toute sa longueur.

Le second a donné un des plus beaux résultats que l'on ait obtenus en Touraine, et c'est de ce puits qu'il est question dans le tableau du n° 50. 15 mètres de ce puits sont tubés en bois et 1m.66 en cuivre.

Le troisième a été foré peu de temps après les deux autres, mais je n'ai aucune donnée positive sur ses dimensions, ni sur ses résultats. J'ai su seu-

lement qu'en janvier 1837, après sa construction, on n'avait d'abord obtenu qu'une très-faible augmentation sur la somme des produits antérieurs des deux premiers puits, augmentation presque aussitôt annulée par un accident. Ce qui confirme ce que nous avons dit du peu d'avantages que présente la multiplicité des puits sur un même point (45).

Ces puits sont employés à la mise en mouvement d'un moulin à blé.

La température de l'eau du premier était 11° 50 centig.; celle du second (plus profond), 13° centig. : enfin celle de l'atmosphère était, au moment de cette expérience (27 janvier 1836), 1° centigrade + 0; au reste, il est évident qu'elle ne devait avoir aucune influence sur celle de l'eau jaillissante.

60. *Détails sur le puits de l'abattoir, à Tours.*

Les dimensions et les produits de ce puits sont relatés dans le tableau du n° 50. Je ne connais pas exactement la différence de niveau qui existe entre l'orifice de l'expérience du 3 février 1836 et celui des deux autres expériences. Je sais seulement que cette distance est à peu près de 4 mètres, et c'est à cause de cette incertitude que deux mesures, relatives aux expériences (23) et (24), ne sont mentionnées que comme approximatives. Quoi qu'il en soit, les deux dernières expériences, éminemment comparables, puisqu'elles ont été faites dans des circonstances absolument semblables, indiquent

une diminution qui a fait depuis de nouveaux progrès.

Cependant le tubage de ce puits avait été fait avec beaucoup de soin, comme on en pourra juger par les détails que je vais donner. Il me semble donc impossible d'attribuer à des défauts dans l'exécution de ce tubage la diminution que je viens de signaler, et je ne puis y trouver d'autre cause que l'insuffisance de sa profondeur qui pourtant est de 100 mètres, m'a-t-on dit.

Le tubage dont nous parlons, exécuté, ainsi que le puits, par M. Degousée, est en cuivre de 0m.003 d'épaisseur, et l'on n'a percé la plaquette de grès vert, sous laquelle se trouve la première nappe ascendante, qu'après que les tubes ont été parfaitement assurés. Le sondage avait 0m.220 de diamètre, tandis que la conduite n'en a que 0m.140 intérieurement; l'espace vide a été rempli de béton fortement foulé, au point que la quantité injectée offrait un volume à peu près trois fois plus considérable que celui du vide calculé; ce qui prouve qu'il existait des cavités et des fissures que le béton a remplies.

Avant l'injection, une expérience assez curieuse a été tentée; on a rempli le tube d'eau, et l'on a reconnu ce qu'il fallait de ce liquide pour maintenir constamment le niveau à la même hauteur : la partie extérieure du tube éprouvait la pression des eaux des puits ordinaires. La différence des deux pressions, qui était de quelques mètres seulement, a servi à calculer la section de la fuite par

laquelle s'écoulait la quantité d'eau que l'on versait de temps en temps pour le remplissage. Cette section s'est trouvée de trois millimètres carrés; mais, après l'injection du béton, elle a été complétement supprimée, ainsi que l'a confirmé, d'ailleurs, une expérience décisive en sens inverse. Pour faire cette nouvelle expérience, on a vidé le tube à l'aide d'une simple cuiller cylindrique formant une espèce de seau allongé, et contenant au plus 6 litres. On descendait et l'on remontait alternativement cette cuiller, dont l'aller et le retour, à la fin de l'épuisement, exigeaient près de dix minutes. On a ainsi vidé le tube, jusqu'à 90 mètres de profondeur environ, selon les renseignements qui m'ont été fournis. Une ouverture très-petite, soumise à une faible partie de cette charge, eût assurément laissé passer les eaux souterraines qui alimentent les puits ordinaires, et eût mis un obstacle insurmontable à l'épuisement.

Ce puits a encore été l'objet d'un essai fort remarquable : après en avoir retiré l'eau, comme je viens de le dire, on y a descendu un flambeau que j'ai vu briller jusqu'à la profondeur qui vient d'être énoncée, et donner la preuve la plus frappante de la verticalité parfaite du tube. La lumière n'a disparu qu'en atteignant l'eau, après être devenue graduellement presque invisible par son éloignement, ou plutôt, parce que l'acide carbonique qu'elle dégageait par sa combustion la faisait pâlir. Cette expérience intéressante, qui a eu plusieurs spectateurs, entre autres les deux adjoints et un juge du tribu-

nal civil de Tours, répond victorieusement aux doutes que l'on a quelquefois témoignés sur la possibilité d'établir des forages parfaitement droits et verticaux.

61. *Détails sur les puits de M. Tessier, à Tours.*

M. Tessier a fait construire deux puits artésiens pour la mise en mouvement d'un moulin à blé; le premier de ces puits, n'ayant pas été l'objet d'expériences suivies, n'a pu figurer dans le tableau du n° 50. Nous allons, néanmoins, donner quelques détails sur sa construction et sur ses produits.

Ce puits, terminé le 31 décembre 1834, a 125m.30 de profondeur au-dessous de l'étiage de la Loire. Le sol est à 3m.79 au-dessus de cet étiage. 99m.40 ne sont pas tubés. Le diamètre intérieur est 0m.117. Les eaux en sont d'une excellente qualité, et l'analyse faite par M. Delaunay de Tours a donné les résultats suivants, sur 1000 parties :

Eau pure.	999.658
Carbonate de chaux. . .	0.180
Hydrochlorate de soude.	0.093
Oxyde de fer	0.026
Barégine.	0.017
Silice.	0.013
Sulfate de soude	0.009
Alumine.	0.004
	1.000.000

Quelques traces inappréciables de magnésie.

On a *cru* remarquer sur ce puits le phénomène singulier dont nous avons parlé (5) et (29), ou du moins un phénomène analogue; car on a annoncé que le produit *semblait* un peu plus considérable la nuit que le jour.

J'ai eu occasion de jauger ce puits dix mois après sa construction (le 30 octobre 1835), et le travail dynamique théorique qu'il fournissait était alors, par seconde, 64 km. 40. Comme, à cette époque, il avait déjà subi une diminution, que, d'ailleurs, l'entrepreneur de la construction du moulin ne s'était mis nullement en peine de rechercher les conditions du maximum d'effet, je ne doute pas que l'on n'eût pu en tirer, au moyen de meilleures dispositions, et en prévenant la diminution, un parti plus avantageux.

62. Depuis, M. Tessier a fait construire un second puits, achevé au commencement de janvier 1837. La communication entre le premier puits et celui de M. Champoiseau, d'abord insensible (45) et (55), était alors devenue très-appréciable, et le nouveau puits, foré, entre deux, à 20 mètres du premier, en éprouvait, à plus forte raison, l'influence. Aussi, dans plusieurs expériences (*) faites sur ces trois puits, le 20 janvier 1837, cette influence s'est-elle manifestée pleinement par les altérations que subissait le volume fourni par l'o-

(*) Je n'ai pas cru devoir rapporter toutes ces expériences, dont le détail ne présente qu'un intérêt purement local.

rifice de l'un des puits, lorsqu'en laissant cet orifice à une hauteur constante on élevait ou l'on abaissait celui des deux autres.

Le travail théorique maximum de ces deux puits réunis s'est trouvé, par seconde, de $87^{km}.81$, ce qui confirme de nouveau ce que nous avons dit (45) du peu d'avantage de la multiplicité des puits voisins. A la vérité, depuis le 30 octobre 1835 jusqu'au 20 janvier 1837, le premier puits avait perdu, et son travail théorique maximum n'était plus, à la dernière époque, que 45^{km}. Mais, lors même que ce puits eût conservé sa puissance de $64^{km}.40$, sans éprouver de déperdition, ni même être influencé par le voisinage de l'autre, la différence $19^{km}.40$, ajoutée à $87^{km}.81$, n'eût produit que $107^{km}.21$, et, par conséquent, le nouveau produit n'eût pas été double du premier.

Les expériences citées dans le tableau du n° 50 se rapportent au second de ces puits. En même temps que l'on faisait varier la hauteur de l'orifice, on avait soin d'opérer une variation semblable sur l'orifice de l'autre ; et, pendant la durée de ces expériences, le puits voisin de M. Champoiseau versait ses eaux, à six mètres du sol, sur la roue de la filature.

63. *Détails sur les puits de M. le comte Desbassayns de Richemont, à Cangé, près de Tours.*

M. le comte de Richemont a fait construire, par M. Mulot, deux puits artésiens dans sa propriété de Cangé, à 6 kilomètres environ au sud-

est de Tours. Le premier de ces puits, foré en 1836, est situé sur la rive droite du Cher, dans une prairie qu'il est destiné à arroser ; c'est le seul sur lequel j'aie eu des renseignements qui m'ont été communiqués par M. Mulot. Le second est foré au pied même du coteau sur lequel est bâti le château de Cangé, et doit mouvoir une machine hydraulique pour élever sur le plateau une partie des eaux fournies par le puits.

J'ai donné, dans la note première, un état des couches géologiques qui ont été traversées par la sonde, lors de la construction du premier puits, dont les dimensions et les produits sont d'ailleurs exprimés dans le tableau du nº 50. L'eau est d'une excellente qualité, et propre à tous les usages domestiques : elle a pour température 17°.2+0 c.

64. *Détails sur les puits artésiens d'Elbeuf.*

Depuis quelques années, il a été foré, à Elbeuf, par M. Mulot, plusieurs puits artésiens qui, rangés à peu près selon l'ordre des dates de leur construction, sont ceux de

M. Join Lambert,
M. Prieur Quesné,
M. C. Randouin,
M. Henri Quesné,
M. Victor Grandin,
La place Saint-Louis.

Celui de M. Join Lambert est le seul sur lequel j'aie pu recueillir, sans aucune exception, tous les

documents qui m'étaient nécessaires pour le comprendre dans le tableau du n° 50.

Je vais analyser maintenant plusieurs renseignements qui m'ont été donnés avec une extrême obligeance par MM. Join Lambert, Henri Quesné, C. Randouin.

On a pu élever, à Elbeuf, l'eau à une hauteur beaucoup plus considérable qu'à Tours, et même on a été obligé d'arrêter les expériences faute d'échafaudages suffisants. On a reconnu cependant que l'ascension pouvait être portée jusqu'à 30 mètres au moins au-dessus du sol, ce qui prouve que la résistance opposée par le terrain à la dispersion du fluide est fort grande (16); aussi les puits d'Elbeuf, tubés partiellement comme ceux de Tours, ont-ils beaucoup mieux soutenu leurs produits. Cependant, ces produits ont été peu considérables, malgré la grande valeur de la charge totale, parce que la plus grande partie de cette charge est comme annihilée par la résistance que les conduits souterrains apportent au mouvement de l'eau qui afflue vers les puits artésiens (20).

A Tours, au contraire, les volumes obtenus ont été généralement d'une importance remarquable (6); mais l'ascension médiocre des eaux prouve, si le réservoir est assez élevé (79), l'insuffisance de la résistance opposée à la dispersion souterraine; aussi les diminutions progressives et déplorables dont nous avons parlé n'ont-elles pas tardé à se faire sentir, et M. Champoiseau n'a-t-il pu obtenir le résultat satisfaisant mentionné précédemment (52)

et (54) qu'en dépassant, par un tubage profond, les couches pénétrables où le fluide se dissipait lors de la première construction de son puits.

D'autres observations confirment les différences que je signale. Par exemple, à Elbeuf, l'influence que les puits voisins exercent les uns sur les autres a été reconnue tout d'abord, tandis qu'à Tours elle ne s'est manifestée que graduellement et lentement. Enfin, dans la première de ces villes, on a remarqué, m'a-t-on assuré, des variations périodiques sensibles qui correspondent aux époques de la fonte des neiges ou de l'étiage, tandis que, dans la dernière, les seules perturbations que l'on ait pu jusqu'à présent constater positivement ne sont que des décroissements progressifs.

Il est inutile d'insister sur les avantages que de semblables sources présentent à la ville d'Elbeuf, où l'industrie est portée à un si haut point. Ainsi, dans l'établissement de M. Henri Quesné, le puits artésien verse ses eaux à la hauteur du premier étage, ce qui a permis de supprimer des pompes dont l'action presque incessante absorbait un travail dynamique assez considérable. Le même puits alimente une teinturerie, et ses eaux, au lieu de se trouver dans l'exception fâcheuse dont nous parlerons (83), sont, au contraire, d'une pureté qui a même ajouté à la qualité des teintures.

Jusqu'à présent, on n'a trouvé, à Elbeuf, que deux nappes fournissant de l'eau ascendante; la seconde est, comme il arrive presque toujours,

plus abondante que la première, et il est probable qu'en poussant plus loin le percement on en trouverait de nouvelles plus riches encore.

On a remarqué un petit décroissement sur les puits forés le plus anciennement; mais on attribue ce décroissement au partage qui se fait, entre les anciens puits et les nouveaux, du liquide fourni par une nappe peu riche. Ce qui donne du poids à cette opinion, c'est que le puits de M. Quesné a subi une diminution fort sensible et tout à fait brusque, au moment où l'on a atteint la couche aquifère, dans le percement de la place Saint-Louis.

C'est M. Join Lambert qui, le premier, a fait forer un puits artésien à Elbeuf, et qui a ouvert ainsi, dans cette ville, une nouvelle voie aux progrès industriels. Son puits présente cela de particulier, qu'à côté du sondage artésien, M. Join Lambert a disposé des moyens d'absorption qui lui permettent de faire écouler, dans la couche de galets et de gros sables sur laquelle roulent les eaux de la Seine, le volume de son puits. Toutefois, l'absorption, pour être complète, exige que la Seine soit basse, et n'est plus totale lorsque cette rivière, en se grossissant, augmente la contre-pression qui s'oppose à la dispersion du fluide.

65. Nous avons exprimé, dans le tableau annexé au n° 50, les valeurs numériques de toutes les quantités connues parmi celles qui sont dénommées au n° (13), pour les puits dont nous nous sommes occupé dans nos applications. Il va donc nous être facile

de suivre pas à pas la théorie que nous avons exposée dans le chapitre précédent, et de la comparer avec les résultats consignés dans ce tableau. Toutes les charges fictives qui y sont énoncées ont été calculées par la formule (29), n° 36, dont j'ai dégagé la charge fictive $[(H - h'_a) + (m - 1)h - ma]$ qui revient à $(H - h - h')$.

66. Depuis le n° (13) jusqu'au n° (19) inclusivement, nous ne trouverons matière à aucune comparaison.

Nous avons dit à la fin du n° (20) que la résistance du terrain à la dispersion du fluide limitait, dans la plupart des cas, la diminution de h', et, par conséquent, l'élévation du niveau de la charge fictive, par rapport au niveau de la surface fluide dans le réservoir : l'expérience (18) nous en donne un exemple remarquable, puisque, dans cette expérience faite sur le puits de la caserne de cavalerie, la colonne d'ascension a été élevée à une hauteur suffisante (53), pour faire cesser l'écoulement, qui ne s'est rétabli qu'après une assez longue attente. Alors l'orifice était à 27^m.20 de hauteur au-dessus de l'étiage de la Loire; et quoique, selon toutes les apparences, on eût pu l'élever encore, en attendant, pendant un temps suffisant, le rétablissement de l'écoulement, il est à peu près évident que l'on n'était pas loin du terme de l'élévation, que l'on eût trouvé, sans doute, à 30 mètres environ au-dessus du niveau de l'étiage. Cependant, comme nous le dirons un peu plus loin (79), le réservoir alimentaire, selon de grandes probabilités, est plus

élevé d'une quinzaine de mètres environ. Cette mesure était donc vraisemblablement alors la limite inférieure de la valeur de h', pour le puits de la caserne de cavalerie; elle doit, d'ailleurs, différer maintenant de ce chiffre, car les déperditions, que nous avons fait connaître, démontrent que la résistance n'est plus la même.

67. Les puits de Tours, ayant tous perdu une partie de leur volume primitif, et présentant des preuves non douteuses d'un écoulement souterrain, sont évidemment compris dans la seconde des deux catégories établies n° (25) : nous allons donc y faire l'application de la théorie spéciale relative à la classe dont ils font partie.

L'inspection du tableau (50) confirme, avec la dernière évidence, les conclusions du n° 28, et l'on voit, dans les séries formées des expériences 1, 2, 3, 4, 5...., 10, 11, 12......, 15, 16, 17, 18......, 25, 26, 27, 28, 29, le produit et la charge fictive des puits augmenter ou diminuer à mesure que l'on abaisse ou que l'on élève l'orifice; on voit aussi que le niveau de la charge fictive s'abaisse en même temps que cet orifice.

La seconde de ces séries, celle qui concerne le puits de la caserne de cavalerie, semble néanmoins présenter, pour les expériences 16 et 17, une anomalie en ce qui concerne le niveau de la charge fictive; mais, ainsi que nous l'avons dit (53), cette série d'expériences a été faite avec précipitation. La charge fictive et le volume exprimés dans le tableau pour les deux expériences que nous

venons de citer sont certainement trop faibles, et nous pouvons le dire avec d'autant plus de raison, que les distances franchies brusquement par l'orifice sont considérables; par conséquent, le niveau indiqué pour la charge fictive dans ces expériences est trop peu élevé; mais on voit la vérification de la théorie par l'expérience suivante (18), dans laquelle, comme nous l'avons dit, la cessation absolue de l'écoulement a forcé d'attendre plus longtemps, et de donner au régime le temps d'approcher davantage de son état réel de stabilité.

68. Quoique les expériences faites sur les puits de différents diamètres ne soient pas, à beaucoup près, aussi comparables que celles qui ont été faites par séries continues, à la même époque, sur un même puits artésien, nous pouvons toujours remarquer la confirmation de ce que nous avons dit dans le numéro (27), sur les résultats de l'augmentation du diamètre. On voit, en effet, dans le tableau, que la charge fictive est, en général, d'autant plus faible que le diamètre du puits est plus grand; que, par conséquent, le niveau de la charge fictive s'abaisse, la pression de l'eau sur le fond et sur les parois du puits diminue, et qu'enfin les causes de déperdition et de ruine deviennent également moins influentes.

69. Quant à l'augmentation que l'agrandissement du diamètre apporte dans le produit (27), nous devons, pour la reconnaître, comparer des orifices situés à des hauteurs égales au-dessus du niveau de la Loire, et placés dans des circons-

tances semblables. Malheureusement, le tableau ne présente qu'un seul élément, et encore un élément imparfait d'une comparaison de ce genre. Cependant nous pouvons encore mettre en parallèle, sur ce point, la théorie et la pratique. En effet, le nouveau puits de M. Champoiseau donnerait assurément davantage s'il n'était en communication avec les puits de M. Tessier, de la tour Charlemagne, et de la caserne d'infanterie, qui versent leurs eaux plus bas. Or l'expérience (12) dans laquelle l'orifice est plus élevé de 0m.49 que dans l'expérience (1), et pendant laquelle la communication dont nous venons de parler était établie, donnant, malgré ces circonstances défavorables, un produit plus considérable que celui de l'expérience (1), où le puits de M. Champoiseau était entièrement indépendant de ceux qui l'environnaient (55); cette expérience, que nous ne donnons pas cependant comme une preuve, vient à l'appui de ce que nous avons dit (27) des effets de l'agrandissement du diamètre sur l'importance du produit.

70. Enfin nous avons annoncé (37) que l'abaissement du niveau de la charge fictive abaisse le point où il est convenable de donner l'eau pour obtenir le maximum de travail dynamique. La comparaison des résultats des expériences faites sur le puits de M. Champoiseau, avant et après sa réparation, met en évidence cette proposition. En effet, ce point, le 17 juillet 1834, avant l'affaiblissement et la réparation du puits, était situé à 6m.35 au-dessus du sol (72), et, aujourd'hui, quoique les

expériences (10), (11), (12) ne soient pas en nombre suffisant pour le déterminer, on voit bien qu'il n'atteint pas, à beaucoup près, la hauteur de $5^m.75$, aussi au-dessus du sol.

71. Enfin, si l'on compare les produits des mêmes puits à différentes dates, on y reconnaît le décroissement fâcheux que nous avons signalé, et l'on remarque que la charge fictive, le niveau de cette charge et la pression piézométrique ont diminué, pour les mêmes hauteurs d'orifice et pour le même puits, en même temps que le produit (29).

* 72. Nous allons maintenant comparer avec les résultats des expériences les formules (22), (29) et (35).

Faisons-en donc l'application aux séries dans lesquelles on a opéré avec le plus d'exactitude (*); prenons constamment pour a et b les nombres donnés par les premières et les dernières expériences de chaque série, et commençons par le premier puits de M. Champoiseau.

On tire de la formule (19) :

$$m = \frac{-[(H - h'_a) - (H - h'_b)]}{b - a} =$$

$$\frac{-(7.92 - 9.32)}{8.34 - 5.26} = 0.45.$$

Charge fictive. On tire donc de la formule (22), pour valeur de la charge fictive de l'orifice situé à $6^m.79$ au-dessus du sol (exp. n° 3) :

$$[(H - h'_a) + (m - 1)h - ma] =$$

$$7.92 + (-0.55)\,6.79 - 0.45 \times 5.26 = 1.83.$$

L'expérience directe a donné 1.71.

Volume. On tire de la formule (29) :

(*) Nous ne parlerons pas, par conséquent, du puits de la caserne de cavalerie, à cause des anomalies qu'il présente, et qui proviennent de la précipitation avec laquelle ont été faites les expériences (53).

$$Q = 18.66 \sqrt{\frac{[(H - h'_a) + (m-1)h - ma]D^5}{L+h}} =$$

$$18.66 \sqrt{\frac{1.83 \times \overline{0.140}^5}{142.57}} = 0.01550 \text{ ou } 15 \text{lit. } 50.$$

L'expérience directe a donné 15 lit.

Travail dynamique. On tire de la formule (35), pour la valeur convenable de h :

$$h = -205^m.2$$
$$h = +6^m.66.$$

La valeur négative doit évidemment être négligée comme ne satisfaisant qu'à l'équation, et c'est la valeur $h = 6\ 66$ qu'il faut prendre pour résultat du calcul.

Or, en traçant une courbe dont les hauteurs forment les abscisses, et les quantités de travail les ordonnées, on reconnaît aisément que, pour l'orifice situé à $6^m.03$ au-dessus du sol (exp. n° 2), la quantité de travail 108 km. présente une anomalie et pèche un peu par excès; que, d'ailleurs, l'inspection des quantités de travail trouvées dans les expériences numérotées 1, 2, 3 4, 5 démontre seule cette anomalie, puisque la croissance et la décroissance sont plus rapides aux environs du maximum 108 km. que quand la courbe s'en éloigne. En corrigeant donc cette anomalie, et en traçant une courbe bien continue, sans détours ni jarrets, on trouve que le maximum correspond sensiblement à l'ordonnée exprimée par $6^m.35$; ce nombre est donc la valeur de h trouvée par l'expérience.

* 73. Passons au puits réparé de M. Champoiseau.

On tire de la formule (19) :

$$m = \frac{-[(H - h'_a) - (H - h'_b)]}{b - a} =$$
$$\frac{-(1.46 - 5.85)}{5.75 - 0.50} = 0.83.$$

Charge fictive. On tire donc de la formule (22), pour va-

leur de la charge fictive de l'orifice situé à $4^{m}.75$ au-dessus du sol (exp. n° 11) :

$$[(H-h'_a)+(m-1)h-ma]=$$
$$1.46+(-0.17)\,4.75-0.83\times 0.50=0.24.$$

L'expérience directe a donné 0.21

Volume. On tire de la formule (29) :

$$Q=18.66\sqrt{\frac{[(H-h'_a)+(m-1)h-ma]\,D^5}{L+h}}=$$

$$18.66\sqrt{\frac{0.24\times\overline{0.277}^5}{167.17}}=0.028 \text{ ou } 28 \text{ litres.}$$

L'expérience directe a donné 27 litres.

Travail dynamique. On tire de la formule (35), pour valeurs convenables de h :

$$h=-244.5$$
$$h=+\ 4.09.$$

On rejettera encore la valeur négative. Ce puits n'ayant été jaugé qu'à trois hauteurs différentes, il est impossible de construire une courbe, et par conséquent de comparer le résultat que vient de donner le calcul avec celui de l'expérience. Vainement voudrait-on se servir des expériences (13) et (14) comme donnant un quatrième et un cinquième point; parce que, dans l'intervalle du 21 mai au 2 août et au 21 septembre 1839, le produit du puits a notablement augmenté, et que, par conséquent, les expériences dont nous parlons ne sont pas comparables avec celles qui les précèdent.

* 74. Faisons encore l'application des formules au second puits de M. Tessier.

On tire de la formule (19) :

$$m=\frac{-[(H-h'_a)-(H-h'_b)]}{b-a}=$$
$$\frac{-(2.25-7.05)}{7.00-1.39}=0.85.$$

Charge fictive. On tire donc de la formule (22), pour valeur de la charge fictive sur l'orifice situé à $4^m.77$ du sol (exp. n° 27):

$$[(H - h'_a) + (m - 1) h - m a] =$$
$$2.25 + (-0.15) 4.77 - 0.85 \times 1.39 = 0.36.$$

L'expérience directe a donné 0.40.

Volume. On tire de la formule (29) :

$$Q = 18.66 \sqrt{\frac{[(H - h'_a) + (m - 1) h - m a]}{L + h} D^5} =$$
$$18.66 \sqrt{\frac{0.36 \times \overline{0.164}^5}{135.71}} = 0.0105 \text{ ou } 10 \text{ lit. } 50.$$

L'expérience directe a donné 11 lit. 10.

Travail dynamique. On tire de la formule (35), pour les valeurs convenables de h :

$$h = -197.4$$
$$h = +\ \ 4.71.$$

On rejette la valeur négative, et la construction d'une courbe analogue à celle dont nous avons parlé pour le premier puits de M. Champoiseau donne 4.75 environ.

* 75. Nous comparerons maintenant les formules avec les résultats des expériences faites sur le premier puits de Cangé.

On tire de la formule (19),

$$m = \frac{-[(H - h'_a) - (H - h'_b)]}{b - a} =$$
$$\frac{-(6.19 - 9.67)}{7.50 - 0} = 0.46.$$

Charge fictive. La formule (22) donnera donc pour valeur de la charge fictive sur l'orifice situé à $3^m.50$ du sol (exp. n° 32):

$$[(H - h'_a) + (m - 1) h - m a] =$$
$$6.19 + (0.46 - 1) 3.50 - 0.46 \times 0 =$$
$$4^m.30$$

indiquée par l'expérience, comme correspondant au maximum d'effet.

77. Les personnes accoutumées aux recherches exactes trouveront, probablement, très-grandes les divergences qui existent entre les nombres indiqués par le calcul, et ceux qui sont fournis par les expériences : mais, si elles veulent considérer que les formules des conduites ne sont qu'approximatives; que les puits artésiens sur lesquels j'ai fait porter mes calculs ne sont tubés qu'incomplétement, et présentent par conséquent, sans doute, bien des inégalités; enfin, que des expériences industrielles, où les propriétaires, pressés de jouir, d'arrêter le chômage de leurs établissements, et de mettre fin aux dépenses de main-d'œuvre occasionnées par de semblables essais, que de telles expériences, dis-je, malgré tous les efforts et tous les raisonnements de l'ingénieur, ne sont jamais l'objet des mêmes soins que des expériences de précision, elles jugeront, ce me semble, au contraire, que l'accord entre les indications théoriques et les résultats pratiques est plus grand qu'il n'était permis de l'espérer.

78. Les résultats de l'analyse permettent donc de prévoir ceux de l'observation ; et, bien que je ne voulusse jamais donner le conseil de se borner aux formules et aux chiffres, dans des questions sujettes à autant de chances d'irrégularité, je n'en conclus pas moins que le calcul peut donner des aperçus très-propres à diriger les expériences, et

même à y suppléer d'une manière satisfaisante quand elles sont impossibles.

Il permettra notamment de reconnaître assez approximativement les produits que l'on pourrait obtenir *un peu au delà* des limites des expériences. Je dis *un peu au delà*, parce que, plus on s'éloignera de ces limites, plus on augmentera la possibilité et l'importance des erreurs. Mais il arrive souvent qu'après avoir étendu les expériences sur une longueur de 8 à 10 mètres, et plus, on se trouve arrêté par l'insuffisance de l'échafaudage; au moment où l'on désirerait encore prolonger les recherches à $0^m.50$ ou 1 mètre plus loin. Dans ce cas, le calcul donnera le résultat demandé avec une approximation bien suffisante, dans la plupart des circonstances.

79. J'ai dit, dans le numéro (39), que la perte de charge h', nécessaire pour faire couler l'eau dans les canaux souterrains, pouvait, dans beaucoup de cas, être bien moindre qu'on ne serait tenté d'abord de le penser. J'ai fait, au même endroit, le calcul du temps que l'eau, animée d'une vitesse de 0,020 par seconde, emploierait à parcourir 20 myriamètres, et j'ai trouvé moins de quatre mois. De plus, M. Arago (*Annuaire du Bureau des longitudes* pour 1835, page 220), en émettant l'opinion que la circulation se fait assez librement dans de véritables canaux, semble regarder l'espace de temps dont nous venons de parler, comme celui que les eaux, ou plutôt que les corps qu'elles entraînent, emploient pour parvenir

aux puits artésiens de Tours. Enfin cette ville est située dans une plaine basse, et il suffit de s'en éloigner dans plusieurs directions à une distance assez peu considérable, pour trouver le fond des rivières aussi élevé et plus élevé que le niveau du point où l'on est parvenu à y porter les eaux des puits artésiens (53).

Tous ces indices peuvent donc faire penser que les réservoirs alimentaires de ces puits ne sont pas extrêmement éloignés.

Cette hypothèse trouve d'ailleurs une nouvelle probabilité dans la constitution géologique du pays, sur laquelle on peut consulter un beau travail publié en 1836 par M. Dujardin, sous le titre de *Mémoire géologique sur la Touraine* (*).

Une carte et une coupe du département accompagnent cet ouvrage, et la coupe, faite du nord au sud, présente les faits suivants :

La Loire, le Cher et l'Indre coulent sur la formation crayeuse, et ne pourraient, par conséquent, alimenter les puits artésiens qui se rencontrent sous les grès verts, que s'il existait, dans toutes les couches géologiques, des brisures et des solutions de continuité dont l'existence paraît peu probable.

La Creuse, au contraire, coule sur le calcaire jurassique, *à la naissance de la craie et des grès verts*, sous lesquels s'infiltrent évidemment ses

(*) Cet ouvrage fait partie des Mémoires de la Société géologique de France (1836).

eaux, et l'on remarquera que c'est toujours sous les plaquettes de cette dernière formation que l'on rencontre à Tours les nappes artésiennes. La distance de cette rivière jusqu'à Tours, mesurée au moyen de l'échelle de la carte de M. Dujardin, est de 7 myriamètres environ en ligne directe. D'ailleurs, le lit de la Creuse étant (toujours d'après l'échelle) plus élevé de 42 à 45 mètres que l'étiage de la Loire, on conçoit très-bien l'alimentation des puits artésiens situés dans le bassin de cette dernière rivière (*).

Or celui des puits de Tours dont l'eau s'est élevée le plus haut avait, au moment de son achèvement, pour élévation maximum du niveau de sa charge fictive, $27^{m}.20$ au-dessus de l'étiage de la Loire. Nous avons dit (53) que, probablement, en attendant l'établissement complet du régime, on eût pu faire parvenir la colonne fluide jusqu'à 30 mètres. Il restait donc environ 15 mètres pour h', c'est-à-dire pour la charge dont l'effet était masqué par la résistance des parois et par la perméabilité du sol.

Pour rendre plus sensibles ces faits importants que nous ne regardons cependant que comme des probabilités, nous donnons (pl. 1, fig. 3) un aperçu de la disposition générale du terrain. Cet aperçu,

(*) Ces mesures résultent de nivellements communiqués à M. Dujardin par MM. les ingénieurs des ponts et chaussées du département d'Indre-et-Loire. On trouvera, de plus, dans son Mémoire, des détails très-étendus et dignes du plus haut intérêt.

tout incomplet et tout imparfait qu'il est, suffira pour éclaircir ce qui précède.

80. Nous n'avons rien à ajouter à ce que nous avons dit (40) et (56) sur la longueur de l'établissement du régime; et le tableau annexé au dernier de ces deux numéros fournit une application remarquable des principes émis dans le premier.

Nous n'insisterons pas non plus davantage sur les diminutions des puits artésiens et sur l'influence que ces puits exercent les uns sur les autres lorsqu'ils sont voisins; car nous avons fait à cet égard, à mesure que nous avons exposé la théorie, l'application des résultats observés.

SECONDE PARTIE.

APPLICATION PRATIQUE DE LA THÉORIE A L'EMPLOI DES PUITS ARTÉSIENS.

CHAPITRE PREMIER.

Réflexions générales.

81. La théorie exposée dans la première partie de ce livre présente des conséquences très-importantes pour le succès des entreprises alimentées par des puits artésiens, et nous croyons nous rendre utile aux personnes peu familières avec les méthodes algébriques, en reprenant et en dégageant de toutes considérations mathématiques, ces conséquences plus ou moins enveloppées jusqu'ici dans les raisonnements et dans les calculs qu'il nous a fallu faire pour discuter les phénomènes et leurs causes. Nous chercherons à éviter les répétitions; mais on conçoit qu'il nous est impossible d'y parvenir entièrement, et nous espérons être excusé en faveur du motif.

82. Nous supposons qu'après avoir soigneusement étudié la constitution géologique du pays où l'on se propose d'établir un sondage, et même vu réussir de semblables entreprises dans le voisinage, on pense sérieusement à en faire la tentative.

L'examen de toutes les conditions nécessaires pour assurer la prospérité du projet n'en sera pas moins encore bien éloigné de son terme. En effet, il devra se porter alors sur la qualité et sur la quantité probables des eaux désirées, sur la possibilité d'élever ces eaux à la hauteur réclamée, sur la diminution éventuelle des résultats obtenus dans les premiers temps de l'exécution ; viendront ensuite les méditations sur le mode de construction et de tubage, et sur l'exécution matérielle du sondage. Des réflexions pratiques sur ces différents sujets, réflexions toutes déduites de la théorie que nous avons exposée, vont nous fournir la matière de ce chapitre.

Enfin, lorsque le résultat est obtenu, il faut en faire l'emploi et réaliser le projet dont il est l'âme et la vie. Nous aurons donc à nous occuper, dans les chapitres suivants, des différents usages auxquels on peut consacrer les puits forés, et nous entrerons dans tous les détails qui nous paraîtront être de quelque utilité.

83. Les eaux des sources artésiennes sont généralement bonnes, pures, salubres et aérées, comme celles qui coulent à la surface du globe, et il n'en peut être autrement que dans des cas très-exceptionnels. En effet, les infiltrations qui alimentent les nappes aquifères ne peuvent avoir lieu que dans des graviers, des cailloux, ou des détritus de grès ; et, pour que les eaux traversassent des amas de vases, de matières bourbeuses ou tourbeuses, des dépôts de substances végétales ou animales en

décomposition, assez volumineux pour altérer la pureté d'une si grande quantité de liquide, il faudrait que ces eaux éprouvassent une pression très-considérable, bien supérieure à celle qui peut résulter de l'élévation ordinaire des réservoirs. Les eaux des puits artésiens ne peuvent donc être viciées dans les entrailles de la terre, que fort rarement, par leur passage dans des gisements salins ou métalliques. Dans tout autre cas, lors même qu'elles seraient absorbées, un peu troubles par l'effet des crues survenues dans les lacs ou les rivières qui les entretiennent, elles ne pourraient que s'améliorer par leur filtration, ordinairement fort lente, à travers une couche immense de graviers ou de pierrailles.

L'expérience a confirmé les prévisions qui dérivent des considérations que nous venons d'exposer. Presque partout les eaux des puits artésiens ont été trouvées d'une qualité parfaite et convenable pour les besoins des arts et de l'industrie.

Nous ne pouvons cependant nous dispenser de mentionner les exceptions, et de dire, en premier lieu, que des eaux excellentes pour tous les usages ordinaires sont pourtant assez souvent impropres à certaines teintures. On sait, en effet, que l'eau de beaucoup de puits artésiens entraine des atomes de fer et qu'elle colore sensiblement les pavés sur lesquels elle les dépose.

Lorsque ce fer provient seulement des parois des tubes de tôle ou de fonte d'où il se détache, on peut facilement s'en délivrer en employant le bois

pour le tubage; mais il arrive souvent qu'il soit fourni par les substances ferrugineuses que l'eau baigne dans les conduits souterrains, et qui sont répandues avec profusion dans la nature.

Alors il est impossible de l'empêcher de se fixer comme mordant sur les matières textiles, et d'altérer plusieurs couleurs, le jaune de gaude, par exemple. Au reste, la présence de ce fer est tout à fait inappréciable dans la plupart des autres opérations manufacturières; elle n'empêche même pas d'employer avec le plus grand succès les eaux artésiennes dans la préparation d'un grand nombre de teintures sur lesquelles elle ne peut exercer aucune influence nuisible.

C'est souvent à l'état de carbonate que les eaux entraînent les atomes de fer dont nous venons de parler; mais il est impossible de rien dire à cet égard qui soit applicable à tous les cas, et les eaux pourront toujours participer de la nature et des qualités des corps avec lesquels elles se seront trouvées en contact; près des mines de fer, on les verra plus ou moins chargées de ce métal dans différents états de combinaison; il en sera de même par rapport aux autres métaux dans le voisinage des gisements qui les contiennent. Ailleurs, on trouvera les eaux chargées de sulfate de chaux qu'elles auront dissous en lavant des bancs de gypse; d'autres fois, surtout près des côtes, ou des salines de l'intérieur, on y reconnaîtra la présence de certains chlorures, notamment du chlorure de sodium (sel marin). Enfin, près des

volcans, et dans toutes les circonstances favorables à la formation des sources d'eaux minérales, on les trouvera chaudes, bouillantes même, chargées de sulfhydrates, d'acide sulfhydrique (d'hydrosulfures, d'hydrogène sulfuré), d'acide carbonique et d'autres substances salines ou gazeuses.

Plusieurs de ces substances seront nuisibles dans quelques emplois, mais tout à fait innocentes dans d'autres. Nous citerons, comme exemple, les eaux chargées d'une légère quantité d'acide sulfhydrique (hydrogène sulfuré). Ces eaux, d'une odeur et d'un goût désagréables, perdent ordinairement très-promptement cette odeur et ce goût, lorsqu'elles sont battues et agitées dans l'air libre, mais surtout lorsqu'elles sont soumises à l'ébullition. Elles peuvent donc être consacrées à une infinité d'usages, malgré cette altération passagère de leur pureté. L'analyse chimique, à laquelle il est toujours nécessaire de soumettre les produits d'un puits artésien, fait, d'ailleurs, connaître à la fois les matières étrangères que ces produits contiennent et les usages auxquels ils sont propres.

Au reste, les cas dont nous venons de parler sont assez rares, et l'on peut se regarder comme presque assuré d'obtenir des eaux excellentes pour les usages ordinaires, toutes les fois que l'on creusera loin des mines, des côtes, ou des salines. On trouvera, sur cette matière, des détails extrêmement intéressants, page 136 et suivantes de l'ouvrage déjà cité de M. le vicomte Héricart de Thury, qui

8

a bien voulu me communiquer lui-même plusieurs autres renseignements dont j'ai fait usage dans le cours de ce volume.

84. Il résulte des calculs et des faits exposés dans la première partie, que la détermination de la quantité de l'eau d'un puits artésien projeté est, de tous les problèmes relatifs à cette industrie, le plus insoluble *à priori*. Des succès marquants, obtenus dans le voisinage, ne peuvent même présenter que des probabilités, et, si le lecteur veut bien se reporter au tableau que nous avons donné dans les notions préliminaires (6), il y verra que le puits de l'abattoir et le second de M. Tessier ont fourni des produits inférieurs à ceux de plusieurs autres puits creusés antérieurement. Cette quantité dépend des différentes circonstances que nous avons signalées, notamment de l'abondance de la ramification souterraine où vient frapper la sonde, et si l'on est assez malheureux pour ne rencontrer qu'un des amas de pierrailles ou de gros graviers qui soutiennent la couche ou le banc imperméable supérieur, on n'obtiendra qu'un volume très-faible, tandis qu'à quelques mètres de distance on eût pu voir surgir une source torrentueuse. Cette incertitude est cruelle, mais il faut la subir, et il ne paraît pas probable que l'on parvienne jamais à obtenir d'avance des indications assez précises pour s'y soustraire ni même pour la diminuer.

On peut du moins, sous certains rapports, influer sur la quantité de l'eau, et l'augmenter

d'une manière assez notable, en donnant au diamètre intérieur du puits la plus grande mesure possible (27). On doit d'autant moins négliger ce moyen d'amélioration, qu'indépendamment de l'augmentation du volume il présente plusieurs autres avantages importants (27). En outre, la perforation sur un grand diamètre est sujette à beaucoup moins d'accidents, et permet des réparations beaucoup plus faciles que celle qui s'opère sur un diamètre trop restreint. A la vérité, l'agrandissement que nous recommandons à ses difficultés propres, et surtout occasionne un surcroît de travail et de dépenses ; mais nos sondeurs triomphent de tout, et ceux des puits qui figurent pour des chiffres très-élevés dans les tableaux des nos (6) et (50) ont été construits ainsi.

Il serait d'ailleurs difficile de donner le moindre aperçu des produits que l'on peut obtenir, à la hauteur du sol, par l'ouverture d'un puits artésien. Le minimum est zéro, et même moins que zéro, puisque certains sondages ne fournissent des eaux qu'en contre-bas des terrains environnants, et présentent pourtant des ressources précieuses, ainsi que nous le dirons plus loin. Quant au maximum, il ne paraît pas qu'il ait dépassé jusqu'à présent 3500 litres par minute à la surface de la terre ; mais, quelques années ayant suffi pour porter aussi haut des résultats que l'on regardait auparavant comme beaux, quand ils atteignaient la trentième partie de ce nombre, nous

nous garderons bien d'assigner des bornes à nos prévisions, qu'il nous faudrait sans doute exagérer, si nous ne voulions nous exposer à les voir dépassées. Les tableaux des nos (6) et (50) peuvent d'ailleurs en faire juger.

Nous donnerons, dans un chapitre spécial, les moyens que l'on doit employer pour constater la quantité des produits, lorsqu'ils sont obtenus.

85. Une autre condition de bonne construction, condition commune en même temps à la question de l'augmentation des eaux, à celle de leur élévation suffisante et à celle de leur conservation, consiste dans un tubage parfait et complet. Nous disons dans un tubage parfait, parce que, si la solidité n'en était pas invariablement assurée, l'eau ne tarderait pas à se faire jour, en s'ouvrant des passages qu'elle continuerait de raviner, et l'on sait jusqu'où s'étendent les effets destructeurs d'un courant non interrompu et pressé par une charge puissante. Nous disons dans un tubage complet, parce que ce tubage, s'il ne descend pas jusqu'au point où le terrain oppose une résistance suffisante à la dispersion du fluide dans les couches environnantes, n'empêchera pas l'affaiblissement graduel du puits, et son extinction après un intervalle de temps assez court (29), (30), (31), (32), (33)... (44) et suivants. Nous avons déterminé, dans la première partie, par des considérations analytiques, l'intensité de la résistance, et nous n'y reviendrons pas; nous nous bornerons à dire que, pour obtenir une sécurité aussi grande que pos-

sible, il est indispensable de fixer inébranlablement le tube dans la plaquette ou dans la couche imperméable quelconque, sous laquelle se trouve la première source ascendante digne par son importance d'être conservée.

Après avoir donné à l'excavation un diamètre supérieur à celui des tubes, on y assure ces tubes en remplissant l'intervalle qui résulte de cette différence de diamètre, d'argile bien battue, ou de béton fortement foulé ; nous préférons le premier procédé, parce que l'on sait que le béton est délavé et affouillé sur beaucoup de points avant sa prise, toutes les fois qu'il existe des sources qui peuvent le pénétrer ; et cet inconvénient doit se présenter dans presque toutes les nappes que le tube traverse avant d'arriver au point où on le fixe. L'argile, au contraire, que l'on emploie avec succès pour l'établissement des batardeaux et la suppression des fuites d'eau, nous semble plus favorable pour la suffocation des épanchements, et d'ailleurs elle a l'avantage immense de rendre beaucoup plus facile l'extraction des tubes, si des réparations rendent nécessaire cette extraction.

86. L'expérience seule indique l'élévation à laquelle il est possible de faire parvenir les eaux obtenues. Ainsi que nous l'avons démontré (20), cette élévation dépend non-seulement de celle du réservoir, mais encore de la résistance que le terrain et le système de tubage présentent à la dispersion. La volonté du constructeur et ses soins peuvent influer sur la seconde de ces causes, mais non sur

la première; d'ailleurs, comme nous l'avons encore fait voir, l'élévation de l'orifice diminue toujours le produit du puits et augmente les chances et la rapidité des dégradations. Il est donc utile, à tous égards, de placer le point de déversement aussi bas que le permet l'usage auquel le puits est destiné (28). L'expérience fera d'ailleurs connaître les différents produits pour différentes hauteurs de l'orifice, et l'on en conclura, eu égard à tous les éléments de la question, celle de ces hauteurs qu'il conviendra d'adopter. Comme ce sujet demande d'assez grands développements, nous le traiterons plus loin, et nous indiquerons les moyens pratiques de constater la puissance dynamique du puits à toutes les hauteurs, et de déterminer le point où cette puissance parvient à son maximum.

87. Ainsi que nous l'avons dit, la diminution des produits des puits artésiens est imminente et même presque certaine, lorsque les précautions convenables n'ont pas été prises dans la construction. J'en ai cité, dans le n° (32) et dans le tableau du n° (50), des exemples qui seraient désolants, si l'on ne savait que des défauts de tubage en ont été la cause. Les faits divers que j'ai exposés dans la première partie, et notamment la surélévation de la nappe des eaux des puits ordinaires, près des puits artésiens décroissants (32), en donnent heureusement la preuve la plus palpable. Je dis heureusement, parce que des causes de force majeure seraient irrémédiables ; au contraire, si les

ingénieurs qui ont construit les puits défectueux ont pu, dans le moment où leur art prenait un développement encore inconnu, céder aux instances économiques des propriétaires et au désir si naturel et si louable de mettre, par un abaissement de prix, leurs travaux à la portée des petites fortunes et des petites entreprises, nous avons l'assurance que maintenant ils résisteront aux sollicitations irréfléchies, et que les accidents que nous avons signalés ne se représenteront pas. Nous devons, au reste, ajouter que leur infatigable persévérance a trouvé dans ces fâcheuses diminutions un nouvel aiguillon; que des réparations ont été entreprises, que les eaux perdues chez M. Champoiseau ont été non-seulement recouvrées, mais augmentées (52) : et nous devons espérer que les puits appauvris, bientôt rétablis dans leur abondance primitive, auront seulement signalé les écueils à éviter, et les inconvénients des épargnes intempestives.

88. Une autre cause d'altération d'un puits artésien se trouve dans la construction de nouveaux puits assez rapprochés pour que la communication s'établisse, sinon instantanément, du moins dans un délai plus ou moins rapproché. La diminution proviendra du partage des eaux, si la nappe alimentaire est faible, ou de l'inégalité de la hauteur des orifices, si ces orifices ne sont pas situés au même niveau. Les faits que j'ai observés pour les puits très-voisins de MM. Tessier et Champoiseau mettent en évidence le préjudice éprouvé, lorsque

deux puits sont en communication, par celui dont l'orifice est le plus élevé (55). Tant que la législation ou l'action réglementaire de l'administration n'aura point efficacement obvié à ce danger, la distance à laquelle un voisin pourrait établir plus tard un puits artésien devra nécessairement être prise en considération par toute personne qui se proposera d'en faire forer un sur sa propriété.

Cette influence des puits trop rapprochés ne devra pas non plus être oubliée toutes les fois que, pour obtenir le volume nécessaire, on se proposera d'en faire ouvrir plusieurs les uns à côté des autres. Comme je l'ai dit (45) et (59), le volume, dans les exemples que je connais, n'a pas suivi la proportion espérée; et si l'on se flattait, en perçant le sol comme un crible, de recueillir toujours le volume demandé, on s'exposerait à n'y jamais atteindre, ou du moins à n'y parvenir qu'avec un nombre de puits plus considérable qu'on ne le pensait, et par conséquent à éprouver un cruel mécompte sur le montant des dépenses présumées.

89. Nous n'ajouterons rien à ce que nous avons dit, dans la première partie, du mode de construction et de tubage, ainsi que de l'exécution du sondage. On trouvera dans le second rapport de M. le vicomte Héricart de Thury des réflexions importantes sur la nature des tubes (*). Quant

(*) A la séance dans laquelle a été lu ce rapport, M. Payen a proposé de faire pénétrer, par une forte pression, de l'huile de lin dans les pores des tubes de fonte, pour en

aux procédés d'exécution, nous renvoyons aux ouvrages que nous avons cités plusieurs fois (1). On y recueillera toutes les instructions nécessaires pour diriger soi-même les sondages d'exploration, et tous ceux que l'on ne doit pousser qu'à des profondeurs moyennes. J'ajouterai le conseil de recourir, pour la construction des puits très-importants, aux personnes qui s'occupent spécialement de ce genre de travaux. On évitera ainsi bien des dépenses d'outils et d'équipages, et surtout bien des tâtonnements que l'inexpérience occasionne toujours dans les entreprises nouvelles et considérables, lors même que l'on consulte les plus excellents guides.

Résumé.

90. Avant de passer à l'exposition des méthodes qui doivent diriger dans l'emploi des puits artésiens, nous croyons utile de résumer ce que nous avons dit dans ce chapitre et dans ceux qui le précèdent.

augmenter la durée. Cet honorable membre a cité l'emploi de ce procédé sur les tubes de la machine à colonne d'eau d'Huelgoat, construite par M. Junker, ingénieur des mines. Selon toutes les apparences, ce moyen serait également très-avantageux pour la conservation des tubes dans les puits artésiens, conservation sur l'importance de laquelle nous nous apercevons que nous n'avons pas assez insisté dans les nos (43) à (49). Nous y reviendrons dans la note huitième à la fin de ce volume.

1°. Le calcul peut être avantageusement appliqué aux phénomènes que présentent les puits artésiens, et nous conseillons de discuter ces phénomènes au moyen des formules que nous avons exposées, parce que cette discussion donnera toujours des renseignements intéressants.

2°. Il est à désirer que, dans chaque localité, on constate la hauteur maximum à laquelle les eaux peuvent être élevées. De semblables expériences fourniront des probabilités précieuses sur le succès à espérer de la perforation de nouveaux puits.

A en juger par ce que nous avons dit des puits de Tours (79), cette hauteur ne paraît pas devoir être très-considérable dans beaucoup de cas.

3°. Il est avantageux d'abaisser l'orifice de déversement d'un puits artésien, autant que le permet l'usage que l'on veut faire de ses eaux, puisque cet abaissement augmente le produit (26) et diminue les causes de déperdition et de ruine (28).

Il est également avantageux de donner un grand diamètre aux tubes des puits artésiens, puisque les produits augmentent avec le diamètre (27). Lors même que cette augmentation de produit ne serait pas très-considérable, celle du diamètre du puits serait avantageuse, parce qu'elle abaisserait le niveau de la charge fictive; qu'elle diminuerait ainsi les chances de déperdition et de ruine; qu'enfin, en faisant trouver plus bas le point convenable pour le maximum de travail dynamique, elle permettrait de faire les roues hydrauliques

plus petites, et, par conséquent, plus légères et moins dispendieuses.

4°. Si l'on veut éviter une grande perte de puissance, il est nécessaire de rechercher, par le calcul et par l'expérience, le point où il convient de prendre l'eau, pour en obtenir le maximum de travail dynamique.

5°. Il est indispensable d'apporter les plus grands soins dans le tubage des puits artésiens, et d'asseoir, avec une entière solidité, l'extrémité du tube jusqu'auprès de la première source ascendante, que son importance rend digne d'être conservée, et surtout de ne pas entraver les mesures que désire prendre l'ingénieur en lui prescrivant une économie qui est toujours mal entendue quand elle compromet la durée du succès.

6°. Lorsque le puits est achevé, on doit, par des jaugeages exacts, en constater le produit près du sol, et à plusieurs hauteurs dont les différences soient de deux tiers de mètre environ, avec toutes les précautions nécessaires pour en bien laisser établir le régime. On pousse l'opération aussi loin que l'exige l'usage auquel le puits artésien est destiné.

Ces jaugeages font connaître le volume de l'eau disponible à différentes élévations. On en conclut le travail dynamique pour toutes ces élévations, et l'on détermine le point qui convient au maximum, soit par le calcul, soit par la méthode pratique que nous exposerons dans le chapitre suivant.

7°. Le jaugeage du puits, répété plusieurs fois,

après des intervalles un peu considérables, donnera le moyen de s'apercevoir si le produit subit une diminution. Si l'on se trouve dans ce cas fâcheux, on avisera de bonne heure aux moyens d'y remédier.

8°. Avant d'entreprendre une opération de quelque importance, fondée sur le succès et la perpétuité d'un puits artésien, on doit, comme nous venons de le dire, s'assurer du volume des eaux, du travail dynamique disponible et de la permanence des résultats ; mais ce n'est pas tout, il faut encore examiner avec soin si les voisins sont dans l'impossibilité de nuire à cette entreprise, en forant d'autres puits dans des limites trop rapprochées, en partageant ainsi le volume des eaux, peut-être même en l'absorbant presque entièrement par l'emploi d'orifices moins élevés, ou par une construction vicieuse de leurs nouveaux puits.

Je pense donc qu'il serait indispensable de soumettre les sources artésiennes aux règlements qui concernent les cours d'eau, et d'exiger, des propriétaires qui se proposent d'en faire la recherche, certaines conditions qui tourneraient, en définitive, à leur avantage et leur assureraient la libre jouissance du fruit de leurs travaux et de leurs dépenses. Pour atteindre ce but, il suffirait que, soit en vertu de la législation et des règlements existants, qui placent les cours d'eau quelconques sous la puissance du gouvernement, soit, s'il était nécessaire, en exécution de nouvelles dispositions, le niveau des orifices des puits artésiens, peut-être même les soins à prendre pour leur construction,

fussent, après une enquête *de commodo et incommodo*, prescrits par MM. les ingénieurs des mines, de manière à prévenir toutes les collisions d'intérêts, et la destruction de richesses plus précieuses, pour certaines localités, que bien des carrières qui sont cependant soumises, et avec raison, à la surveillance de l'autorité.

9°. Ce sujet intéressant vivement plusieurs branches de la prospérité publique, on doit souhaiter que des expériences nombreuses et bien coordonnées viennent compléter, éclaircir et confirmer ce que nous savons de ces puits.

C'est à Tours, surtout, à cause de la grande abondance des nappes aquifères, que de telles expériences pourraient être exécutées avec succès; malheureusement elles ne sont pas praticables dans des entreprises particulières, dont les propriétaires, malgré tout leur zèle, ne peuvent se soumettre aux interruptions et aux dépenses qu'exigerait une série de recherches de précision. Nous ne pouvons donc que faire des vœux pour que le gouvernement prescrive ces expériences lors du premier sondage qui sera fait dans un des établissements publics de cette ville, et qu'il invite l'Académie des sciences à en déterminer la forme : ce serait assurément un des plus beaux et des plus utiles objets d'examen que l'on pût se proposer.

CHAPITRE II.

Du jaugeage du produit des puits artésiens.

91. Lorsque, après une attente longue et des appréhensions pénibles, on voit enfin une source s'élancer des entrailles de la terre, et jaillir à sa surface, l'impatience succède aux fluctuations de l'incertitude. La sonde n'a pas encore terminé son travail, les tubes ne sont pas encore placés, que déjà le plus vif désir de mesurer le trésor découvert s'empare de son propriétaire. Nous croyons donc rendre à toutes les personnes qui forent des puits artésiens un service qu'elles apprécieront, surtout à l'apparition de l'eau si souhaitée, en leur indiquant d'abord des méthodes approximatives, inférieures, il est vrai, à celle que nous donnerons en dernier lieu, mais qui leur permettront de faire, pendant la durée encore assez grande des travaux complémentaires, les expériences et les comptes qui présentent alors tant d'intérêt. Les méthodes dont nous parlons en ce moment sont celles des jaugeages par la méthode autrefois dite des pouces de fontenier, par le moyen d'un petit déversoir, et enfin par l'observation de la vitesse de l'eau dans une rigole dont la section est connue.

92. La première consiste à faire parvenir tout le volume fourni par le puits artésien dans un petit réservoir de forme et de construction quelconques,

que l'on peut même disposer, en établissant sur le sol un barrage semblable à ceux dont se servent les paveurs, mais façonné en terre compacte bien battue, de manière à ce qu'il soit solide et imperméable Ce réservoir sert principalement à élargir le courant continu qui provient du puits artésien, et à diminuer ainsi la vitesse de l'eau, parce que cette vitesse influerait sur le jaugeage, et induirait en erreur, en procurant un écoulement plus considérable que celui qui serait indiqué par le calcul. Il suffit de rendre le réservoir assez grand pour que la vitesse soit peu sensible, et de lui donner une profondeur telle que l'eau y ait une hauteur. de quinze à vingt centimètres. Dans une de ses parois, on remplace la terre, sur une largeur suffisante, par une feuille de tôle ou de fer-blanc, rendue assez longue au moyen des soudures nécessaires, et bien garnie de terre sur ses côtés, pour empêcher toute fuite. La feuille de fer-blanc doit être percée d'une rangée bien horizontale de trous de 0m.0271 de diamètre. L'eau qui parvient dans le réservoir coule d'abord par tous ces trous, et, s'ils sont en assez grand nombre, le niveau ne s'élève que tout au plus à leur bord supérieur, et se tient même ordinairement au-dessous; mais on en ferme successivement plusieurs, au moyen de bouchons de liége préparés d'avance, et l'on voit le niveau s'élever assez pour atteindre leur bord supérieur. Alors on continue, mais avec plus de précaution, à en fermer encore de nouveaux, jusqu'à ce que la surface

fluide se maintienne à deux millimètres et un quart au-dessus du bord supérieur, cette mesure étant prise près de la plaque, ou à quatre millimètres et demi si l'on rapporte le niveau à un point du réservoir où la surface fluide qui s'infléchit près de l'orifice n'ait point encore éprouvé de dépression. L'écoulement doit se faire librement, c'est-à-dire que le bord inférieur des trous doit être au moins à trois centimètres au-dessus de la surface supérieure de l'eau qui s'écoule. Ce bord doit aussi être à dix centimètres au moins au-dessus du fond du réservoir.

Lorsque l'on est parvenu à rendre le niveau stationnaire et à remplir ces conditions, on dit que l'écoulement a atteint son régime, c'est-à-dire qu'il est égal à la production, et si l'on observe le nombre des trous qui sont encore ouverts, on pourra compter, pour chaque trou, sur un débouché de $19^{m\cdot}195^{c\cdot}$ ou de 19,195 litres en vingt-quatre heures, ce qui répond à $13^{lit.}33$ par minute.

La figure 5 représente cette disposition ; A est un trou fermé par un bouchon ; B, B sont d'autres trous ouverts ; P, P est le pavage, T, T le barrage en terre. La coupe, selon CD de cet appareil, est représentée dans la figure 6.

93. Chaque trou ne correspondant qu'à un débouché de $13^{lit.}33$ par minute, la méthode que nous venons d'indiquer devient fort incommode et même impraticable lorsque les puits donnent un volume abondant. On doit alors recourir à un

autre moyen qui demande un peu plus de calcul, mais dont on peut encore se tirer facilement par les seules règles de l'arithmétique. Au lieu d'établir des ouvertures circulaires de 0m.0271, on pratique dans une planche une échancrure rectangulaire amincie sur les bords (le biseau en dehors du réservoir), fig. 7 ; puis on place cette planche bien verticalement dans la même position que nous avons recommandée pour la feuille de tôle ou de fer-blanc. L'eau s'élève et dépasse le bord inférieur de l'échancrure, mais bientôt le régime s'établit, c'est-à-dire que le niveau devient stationnaire, et que l'écoulement se poursuit uniformément. Alors l'eau débouchée par l'ouverture est égale à celle qui afflue du puits artésien. Lorsque l'on est parvenu à cette égalité, on mesure la largeur horizontale de l'ouverture, et l'épaisseur de la lame fluide sur le seuil AB, fig. 8. Ces deux mesures donnent tout ce qu'il est nécessaire de connaître pour calculer le volume de l'eau ; mais, avant d'indiquer la règle arithmétique qui doit être suivie, nous ferons remarquer qu'il faut encore que le déversement ait lieu librement, c'est-à-dire que le bord inférieur de l'échancrure soit à une certaine hauteur au-dessus de la surface supérieure du liquide qui s'écoule, et aussi au-dessus du fond du réservoir. Pour les jaugeages approximatifs des puits artésiens, il suffira que cette hauteur soit de quelques centimètres. Il faut encore que le barrage en terre soit, de chaque côté, à une certaine distance de l'échancrure ; et cette

distance, toujours dans le cas que nous examinons, sera assez grande, si elle atteint quatre à cinq décimètres. Enfin on doit prendre pour *l'épaisseur de la lame fluide la différence de niveau* qui se trouve entre *le bord inférieur de l'échancrure et la surface fluide, à un point assez éloigné de l'orifice pour que cette surface n'ait point encore éprouvé d'inflexion*. Les figures 8 et 9, dont la seconde représente la coupe de la première suivant CD, éclairciront tout ce qui précède. On voit notamment que AB, fig. 8, est la largeur de l'orifice mesuré entre les deux petites croix, et que *ef*, fig. 9, est l'épaisseur de la lame fluide, déterminée comme nous venons de le dire.

Cela posé, après avoir exprimé ces quantités en mètres, on aura le volume de l'eau par la règle suivante (voyez la note quatrième). Faites le cube de l'épaisseur *e f* de l'épaisseur de la lame fluide, et extrayez la racine carrée de ce cube, vous aurez un résultat que vous multiplierez par la largeur AB de l'orifice ; puis vous multiplierez encore ce nouveau résultat par 1.80. Le produit sera le volume de l'eau qui s'écoulera par seconde sexagésimale, et il suffira de le multiplier par 60 pour avoir le volume fourni par le puits en une minute. Ce volume sera exprimé en mètres cubes, et si l'on veut l'avoir en litres, il faudra le multiplier par 1000.

Exemple : Supposons que nous ayons A B = 0^{m}.300 et *e f* = 0^{m}.045; le cube de 0^{m}.045 sera 0.00009112, et la racine carrée de ce cube sera 0.0095. En la multipliant par AB = 0.300, nous

trouverons 0.0028, et ce produit multiplié par 1.80 nous donnera enfin, pour le volume écoulé en une seconde, $0^{m}.0050$; ce sera donc par minute, $0^{m}.0050 \times 60$ ou $0^{m}.300$. Ce volume sera exprimé en mètres cubes, et, si nous le voulons en litres, nous le multiplierons par 1000, ce qui nous donnera 300 litres par minute.

94. Il n'est pas toujours facile de faire les dispositions dont nous venons de parler, et d'ailleurs, lorsque l'on se propose de jauger le puits par la méthode la plus exacte, à différentes hauteurs, après l'achèvement des travaux, on peut ne désirer provisoirement qu'un moyen très-facile de suivre les progrès du sondage et des augmentations de l'eau, à mesure que l'on découvre de nouvelles sources. Alors on recourra utilement à une méthode plus simple encore que les précédentes, suffisante pour faire atteindre le but dont nous venons de parler, et pour donner de la patience à la curiosité. Il suffira de disposer le canal de fuite par lequel on laissera s'échapper les eaux du puits artésien, de manière à ce qu'il présente, sur une assez grande longueur, une section tranversale régulière susceptible d'être évaluée par un calcul facile. Une couloire rectangulaire en planches enfoncées dans la terre remplira parfaitement ces indications, et l'on peut en voir la coupe représentée dans la figure 10.

Lorsque l'on voudra opérer un jaugeage, on fera nettoyer et balayer cette couloire, pour enlever les sables et les dépôts qui s'y seront accumulés pendant le travail. Quand le régime sera bien établi, on prendra la largeur AB et la hauteur AC de la

lame d'eau. Il ne s'agira plus que d'en avoir la vitesse. Pour y parvenir, après avoir marqué sur la longueur de la couloire une distance connue, par exemple, 10 mètres, et rendu bien visibles les deux termes extrêmes de cette distance, on jettera, un peu en amont de la limite la plus rapprochée du puits, un corps léger susceptible de flotter, mais de s'enfoncer jusqu'à fleur d'eau, afin d'offrir moins de prise au vent : un morceau de liége lesté d'un peu de plomb remplira parfaitement ces conditions. Le flotteur ne tardera pas à parvenir devant le premier point marqué, et l'on commencera aussitôt à compter les secondes, jusqu'à ce qu'il passe devant le dernier point. On recommencera deux ou trois fois l'opération, pendant laquelle on devra avoir soin de maintenir le flotteur dans le fil le plus rapide de l'eau, en l'y repoussant légèrement lorsqu'il s'en écartera, mais sans accélérer ni ralentir sa marche. On rejettera les expériences où ces prescriptions n'auraient pas été bien observées, et l'on prendra un terme moyen entre les résultats des bonnes. Si l'on a trouvé, par exemple, que les 10 mètres aient été parcourus en 25 secondes, on en conclura aisément que la vitesse du fil de l'eau est par seconde $\frac{10}{25}$ ou $0^{m}.400$; mais, comme la rapidité décroît près de ses bords et du fond, on prendra les $\frac{4}{5}$ seulement de la quantité trouvée, ce qui donnera approximativement la vitesse moyenne. Dans notre exemple, cette vitesse sera

les $\frac{4}{5}$ de $0^m.400$ ou $0^m.320$. Il suffira alors de multiplier cette vitesse moyenne par la largeur AB, puis par la hauteur AC de la tranche fluide, pour obtenir, exprimé en mètres cubes, le volume qui s'écoule pendant une seconde sexagésimale. Si AB était égal à $0^m.350$ et AC à $0^m.100$, on aurait pour ce volume, $0^m.320 \times 0^m.350 \times 0.100 = 0^m.011$. Pour le rapporter à la minute, il faudrait, comme précédemment, le multiplier par 60, ce qui donnerait $0^m.660$, et, pour le réduire en litres, on le multiplierait encore par 1000. Le produit serait 660 litres par minute.

Nous recommandons ce moyen de jaugeage, qui est fort simple, et qui peut être répété aussi souvent qu'on le veut. Il est d'ailleurs assez approximatif pour permettre de suivre avec beaucoup d'intérêt tout le progrès du travail et l'accroissement progressif du volume des eaux (*).

(*) Quand on n'a pas de montre à secondes, on y supplée par un pendule, composé d'une balle de plomb suspendue à l'extrémité d'un fil fin et soutenue par une épingle, fig. 11. Si la distance *entre l'axe de l'épingle et le centre de la balle* est $0^m.994$, et que les oscillations aient peu d'amplitude, le pendule battra, en France et dans les lieux médiocrement élevés, la seconde sexagésimale, avec une précision très-suffisante. Nous devons ajouter qu'un millimètre de plus ou de moins dans sa longueur n'occasionnerait pas une erreur préjudiciable *dans l'expérience que nous venons de décrire*, parce que les autres parties de l'opération n'étant pas susceptibles d'une grande exactitude, on ne devra jamais regarder le résultat que comme un aperçu.

95. Lorsque enfin la sonde s'est arrêtée, après avoir pénétré jusqu'aux nappes aquifères les plus profondes, que les tubes posés et bien assujettis versent abondamment les eaux si impatiemment désirées, le moment arrive de constater, par un moyen plus rigoureux que les précédents, les produits fournis par le puits à différentes hauteurs. Ce moyen est le jaugeage par empotement dans un vaisseau dont la capacité est connue.

Pour procéder à cette opération importante, on fait préparer un tube de zinc AB, fig. 12, de même diamètre que le puits. On donne à ce tube une longueur suffisante pour les expériences que l'on se propose de faire, et l'on établit sur un de ses côtés différents orifices latéraux C,D,E, de 0m.120 à 0m.140 environ de diamètre; la distance de ces orifices ne doit pas excéder 0m.50 ou 0m.65. Les angles de raccordement sont adoucis par des pièces de rapport; les ouvertures sont légèrement coniques avec l'évasement en dehors; on les renforce par des ourlets et mieux encore par de petits bourrelets. On ferme ces orifices par des tampons de bois tendre, assez saillants en dehors pour que l'on puisse les ébranler, en les frappant à petits coups et les faire sortir à volonté. On assure d'ailleurs ces tampons à coups de marteau, et l'on peut, au besoin, les garnir de linge, comme la bonde d'un tonneau.

Le tube AB est assujetti sur la bride fixe par laquelle on termine toujours le tube du puits artésien, au moyen d'une bride mobile et de boulons.

L'extrémité inférieure en est évasée de manière à former une pince, et s'appuie sur une rondelle de cuir gras. La figure, pour plus de clarté, représente ces pièces encore désunies, avant le serrement des boulons.

Dès que le tube AB, dont les orifices C,D,E sont encore censés ouverts, a été bien fixé, l'eau s'élève et s'écoule par l'orifice inférieur C. Ici, comme dans les jaugeages précédents, et en général, dans toutes les expériences hydrauliques, il faut laisser établir le régime, c'est-à-dire que, quand on change l'état existant des choses, il faut attendre un certain temps pour que le nouvel état devienne parfaitement uniforme et régulier. On emploiera ce délai nécessaire à la disposition des autres parties de l'appareil. On suspendra donc à l'une des pièces de la charpente du lieu où l'on opère, ou de la chèvre qui aura servi à exécuter le sondage, si elle est encore dressée, un gros tuyau de tôle FG, dont on placera la couture rivée en haut, et qui pourra être manœuvré de manière à projeter au premier signal l'eau dans le cuvier HI. Jusqu'à ce que ce signal soit donné, le fluide tombera hors de ce cuvier, et s'enfuira par l'issue que l'on aura dû lui préparer. Il sera bon d'en recevoir le choc sur un panneau de vieilles planches, car j'ai vu plusieurs mètres de pavage déchaussés très-rapidement dans des opérations de ce genre où l'on n'avait pas pris cette précaution. Le diamètre du tuyau FG doit être suffisamment grand pour que, malgré l'inclinaison de ce tuyau, les ajutages

C,D,E puissent y pénétrer profondément, et qu'il ne s'échappe d'eau que par l'extrémité G. Si l'on ne prenait cette précaution, on perdrait de l'eau en K.

On peut aussi employer à ces expériences une couloire carrée en bois; mais, quel que soit le vaisseau que l'on choisisse, il doit être bien étanche, et s'opposer à ce que l'eau, par son bouillonnement, puisse se perdre d'aucun côté.

Le cuvier doit être placé sur des chantiers, afin que l'on puisse le vider en repoussant en dedans le tampon conique L. On peut déterminer la capacité de ce cuvier par le calcul, en le considérant comme un cône tronqué; mais ces sortes de vases n'ayant jamais une forme bien géométriquement exacte, il est beaucoup mieux d'en constater la mesure au moyen d'un décalitre que l'on remplit d'eau et que l'on y renverse, jusqu'à ce que le liquide ait atteint les bords qui doivent être parfaitement deniveau.

Tout étant prêt, et le régime bien établi par une attente suffisante, on donne le signal, et le tuyau FG est dirigé de manière à verser l'eau dans le cuvier. Au moment où l'on voit le liquide pénétrer dans le vaisseau, on commence à compter les secondes, au moyen du pendule que nous avons décrit, ou, ce qui est beaucoup mieux, en faisant partir la détente d'une montre à secondes dont on a préalablement arrêté l'aiguille. Aussitôt que le cuvier est rempli, on note le temps qui s'est écoulé. Si l'on divise le nombre des litres

que contient le cuvier par celui des secondes employées, le quotient exprimera les litres fournis par le puits en une seconde. Il est nécessaire de répéter l'opération après un certain temps, et de voir si le résultat n'a pas changé; s'il est le même, on en conclura que l'on avait attendu assez longtemps, que le régime était régulier, et que l'opération a été bonne. Ce moyen de vérification est le seul par lequel on puisse s'assurer avec certitude de l'établissement du régime; établissement souvent fort long, comme nous l'avons dit (40) et (56). On devra rejeter tous les jaugeages que des variations dans les produits feraient reconnaître comme ayant été effectués trop tôt.

Lorsque l'on a terminé définitivement les expériences qui concernent l'orifice inférieur C, on ferme cet orifice avec un des tampons de bois dont nous avons parlé. On affermit ce tampon à coups de marteau, et, quelques instants après, on voit le liquide s'élancer par l'orifice immédiatement supérieur D. On y place le tuyau de tôle, on laisse établir le régime, et l'on continue les expériences relatives à l'orifice D, absolument comme les précédentes, et avec les mêmes précautions.

L'eau ne peut s'écouler par les orifices C, D, E qu'en vertu d'une charge dans le tube AB; et il en résulte que son niveau, pendant l'écoulement en C, par exemple, s'élève dans le tube AB au-dessus du centre de l'orifice, jusqu'à une hauteur que l'on constate facilement par la différence de

température en tâtant le tube. On pourrait d'ailleurs employer, pour déterminer cette hauteur, des moyens plus précis, qu'il est très-facile d'imaginer; mais il est bien suffisant, pour les expériences ordinaires, de porter l'exactitude jusqu'à un centimètre près. Cette sur-élévation de l'eau dans le tube AB est indiquée dans la figure par le trait ponctué *mn*, et c'est de ce trait que l'on doit compter la hauteur de l'eau dans la colonne artésienne, puisque la pression sur le fond du sondage est réellement exercée par une colonne d'eau dont la surface est en *mn*.

Le cuvier et les chantiers sur lesquels il repose ayant une hauteur nécessaire, il en résulte que le jaugeage du produit au niveau du sol ne peut avoir lieu commodément par ce procédé; on l'exécute, moins exactement à la vérité, par les autres moyens que nous avons décrits.

96. Nous ne saurions recommander aux propriétaires de puits artésiens trop d'exactitude dans les jaugeages, ni trop de précautions pour laisser établir complétement le régime sans la régularité duquel il n'est point de mesure précise. De l'exactitude de ces opérations dépend, en effet, la juste appréciation des ressources que leur offrent leurs puits, tant sous le rapport du volume que sous celui de la puissance. Une erreur sur ce point capital les entraînerait donc dans les plus graves mécomptes, et serait même la cause de fautes considérables dans la construction des appareils destinés à l'emploi de leurs eaux.

97. Lorsque les expériences sont terminées, on forme une table de leurs résultats, et l'on se propose ordinairement différentes questions sur les volumes que pourrait fournir le puits à des hauteurs intermédiaires entre celles pour lesquelles on a opéré. Nous allons donc examiner ce qu'il convient de faire pour dresser la table dans la forme la plus utile, et pour y comprendre tous les résultats que l'on désire calculer.

On commence d'abord par déterminer le point le plus bas où l'on puisse déverser les eaux, en ne leur laissant que la pente nécessaire. Dans les villes où l'administration peut faire exhausser le pavage des rues, et dans tous les lieux où la facilité de l'écoulement peut être diminuée par une cause quelconque, il est prudent de réserver une portion suffisante de la chute pour parer à cette éventualité qui serait suivie de conséquences graves, dans le cas où l'on aurait fait des constructions importantes, établi une roue hydraulique et des machines dont le relèvement présenterait plus tard des difficultés.

Le point dont nous parlons, étant une fois bien fixé, doit être réellement considéré *comme le sol, par rapport au puits artésien* : on doit y rapporter les hauteurs auxquelles correspondent les produits observés dans le jaugeage, et nous supposerons dans tout ce qui va suivre que cet indispensable calcul a été fait préliminairement ; on aura soin, d'ailleurs, de rapporter ce niveau du sol à un repère immuable qui puisse servir de point

de départ, et de récolement, pendant toute la construction des machines et des autres appareils nécessaires pour l'emploi des eaux du puits.

Pour procéder alors à la formation de la table des produits à différentes hauteurs, on pourra se servir des formules que nous avons données dans la première partie; mais on pourra aussi se contenter d'un simple tracé dont l'exactitude suffira, lorsque l'on se proposera seulement de chercher la hauteur convenable pour le déversement de l'eau sur la roue, et que l'on n'aura pas l'intention d'appliquer les formules de la théorie à la discussion des phénomènes de l'écoulement des eaux et à l'examen des conditions dans lesquelles le puits sera placé. Nous allons décrire ce tracé, qui peut rendre de grands services aux personnes peu familières avec les méthodes algébriques, et que l'on emploie avec le plus grand succès, pour l'interpolation des résultats d'expériences physiques, où les erreurs d'observation sont ordinairement plus grandes que celles qui sont la suite de l'imperfection d'un tracé fait, avec le soin convenable, sur une grande échelle.

Supposons, pour plus de clarté, et pour mieux fixer les idées, que l'on ait trouvé les résultats suivants :

	Produit par seconde :
à 1m.70 du sol,	11.20
3m.95	9.90
5m.30	8.70
6m.50	7.50
7m.60	6.20

On tracera une ligne horizontale AX, fig. 13, dite *axe des abscisses ;* et après avoir fait choix de deux échelles, l'une pour les hauteurs, l'autre pour les produits, aussi grandes que le permettra l'étendue du papier, on portera, à partir du point A, dit *origine des abscisses,* une distance égale à 1m.70 de l'échelle des hauteurs. On déterminera ainsi le point B sur lequel on élèvera une perpendiculaire BC dite *ordonnée,* ayant pour longueur 11.20 lit., prise sur l'échelle des produits. On mesurera ensuite sur l'échelle des hauteurs une distance égale à 3m.95 et on la portera sur la ligne AX, *toujours à partir du point* A. Cette distance viendra aboutir en D, et l'on y élèvera une perpendiculaire DE, ayant pour longueur 9m.90 prise sur l'échelle des produits.

On continuera ce tracé de la même manière, pour les autres points, et l'on déterminera ainsi les perpendiculaires FG, HI, KL. Alors on fera passer une courbe bien régulière, sans brisures ni jarrets, par les points C, E, G, I, L. Cette courbe représentera évidemment la marche croissante et décroissante des résultats, pour les différentes hauteurs.

Il arrive souvent que les extrémités des ordonnées, c'est-à-dire des perpendiculaires BC, DE, etc., n'admettent pas le passage d'une courbe bien continue ; cela provient des petites erreurs commises dans les observations, et le tracé de la courbe sera d'autant plus facile que les expériences auront été faites avec plus d'exactitude. Quoi qu'il en soit,

lorsque l'on trouve de ces difficultés et que les différences sont très-petites, on aide au passage d'une courbe régulière, en altérant très-peu les longueurs des ordonnées BC, DE, etc., et l'on corrige ainsi réellement les erreurs des observations; mais on comprend combien on doit éviter de rendre considérables ces altérations, puisque ce serait substituer des suppositions arbitraires aux résultats observés. Si la différence devait être grande dans quelque point, il faudrait donc recommencer l'expérience pour ce point et pour ses voisins. Dans la pratique, on facilite beaucoup le tracé, en prenant une grande échelle, surtout pour les abscisses, qui représentent les hauteurs de l'orifice.

Lorsque l'on a ainsi obtenu une courbe bien continue, et assez régulière pour représenter sensiblement la marche des phénomènes, on divise la ligne des abscisses AX, en autant de parties égales que l'on veut exprimer de hauteurs de l'orifice dans la table; puis, on élève à chacun de ces nouveaux points de division de nouvelles perpendiculaires *bc*, *de*, terminées à la courbe, après avoir effacé les anciennes ordonnées, si l'on craint la confusion; on n'a plus qu'à prendre avec un compas la longueur de chacune de ces perpendiculaires et à la porter sur l'échelle des produits, pour connaître celui qui correspond à chacune des nouvelles ordonnées et pour en dresser la table.

On doit toujours, comme nous l'avons dit,

compter la distance de chacun des points de division, à partir du point A.

L'exactitude des nombres déduits de ce tracé n'est suffisamment grande que quand les points de division sont compris entre les deux ordonnées extrêmes BC et KL, ou du moins ne s'en écartent que fort peu à droite ou à gauche. Si l'on voulait prolonger loin la courbe, par exemple, jusqu'en O, en jugeant à vue d'œil de son cours, on pourrait commettre de graves erreurs (78). En effet, puisque, par hypothèse, les expériences n'ont pas été prolongées au delà de la hauteur représentée par l'abscisse AK, rien n'indique si la courbe prend plutôt la direction LO que les directions L*o*, L*o'*; on ne peut donc rien conclure de précis sur les résultats, en dehors des limites des observations, si ce n'est près de ces limites, parce que les différentes directions que peut prendre la courbe se confondent encore sensiblement.

CHAPITRE III.

De la mesure et du calcul de la puissance dynamique des puits artésiens.

98. Les résultats obtenus, à différentes hauteurs, par les jaugeages décrits à la fin du chapitre précédent, donneront immédiatement la solution de la question qui fait l'objet de celui-ci. On sait, en effet, que, pour connaître la puissance d'un cours d'eau, il suffit de multiplier le volume qu'il fournit dans une seconde, exprimé en litres, par la hauteur de sa chute, exprimée en mètres. Le produit donne le nombre de kilogrammètres (c'est-à-dire de kilogrammes élevés à un mètre) qui représente la puissance cherchée; on aura soin, bien entendu, comme nous l'avons recommandé en parlant du jaugeage, d'examiner, lorsque l'on appliquera ce calcul à un puits artésien, le point le plus bas où l'on puisse faire écouler les eaux, et de prendre ce point comme représentant le niveau du sol.

Si les orifices ont été fort rapprochés pendant l'exécution des jaugeages successifs, le tableau des valeurs de la puissance pour les différentes hauteurs du déversement suffira pour faire connaître à très-peu près le point correspondant au maximum de travail ou d'action dynamique. Mais, ordinairement, dans la vue d'abréger les expériences toujours fort longues, à cause de la nécessité d'at-

tendre, pour chacune, l'établissement complet du régime, on se borne à exécuter les jaugeages pour des distances de 0m.60 à 0m.75. La hauteur convenable pour le maximum de travail dynamique peut donc correspondre à un point intermédiaire entre ceux pour lesquels on a opéré; on doit alors, pour résoudre la question, employer les formules que nous avons données dans la première partie (37), en prenant pour h'_a et h'_b, afin d'assurer d'autant plus l'exactitude de la valeur de m (34), deux valeurs de h, peu distantes de celle qui correspond au maximum et que la table des résultats fait connaître d'avance assez approximativement. Mais les personnes qui n'ont pas l'habitude de l'analyse pourront, lorsqu'elles se proposeront seulement de chercher la hauteur convenable pour le déversement de l'eau sur une roue hydraulique, se contenter d'un tracé analogue à celui que nous avons indiqué pour le jaugeage (97). Nous ne reviendrons pas sur ce que nous avons dit de la manière d'exécuter ce tracé : nous ferons seulement observer que, dans le cas qui nous occupe, les hauteurs représentent toujours les abscisses, mais que l'on prend pour ordonnées les nombres qui expriment la puissance dynamique. Lorsque la courbe est tracée, on dresse la table comme nous l'avons enseigné, et l'on détermine d'ailleurs le point qui correspond au maximum, en cherchant avec le compas la plus longue ordonnée, marquant l'abscisse sur laquelle elle s'élève et portant cette abscisse sur l'échelle des hauteurs; l'ordonnée, portée ensuite sur l'é-

chelle de la puissance dynamique, fait, de plus, connaître la valeur du maximum de cette puissance.

Si l'on veut alors exprimer ce résultat en chevaux-vapeur, on divise le nombre de kilogrammètres par 75; si l'on veut, au contraire, le comparer à la puissance d'un cheval vivant de moyenne force, il ne faut pas prendre le diviseur au-dessus de 42 ou de 45. Des expériences récentes, très-précises, ont fait reconnaître, en effet, qu'un cheval ordinaire ne développe pas un plus grand nombre de kilogrammètres par seconde, lorsqu'il exécute un travail long et soutenu.

Ce calcul ne donne encore qu'un résultat théorique, et l'on sait que la puissance absolue d'un cours d'eau, transmise à une machine, éprouve toujours, quelque parfaite que soit cette machine, une diminution très-notable qui provient, dans une roue hydraulique, par exemple, de ce que l'effet d'une partie de la chute est inutilement dépensé, avant que l'eau atteigne l'auget sur lequel elle agit, de ce que cet auget a une vitesse indispensable sans laquelle le système ne produirait aucun effet, vitesse qui rend comme nulle une autre partie de la chute, et de plusieurs autres causes, notamment de la résistance de l'air et du frottement des tourillons.

On doit donc, pour connaître la puissance réelle, faire une réduction sur le chiffre qui exprime la puissance théorique. Or ce sera ordinairement une roue à augets, dite roue en dessus, que l'on emploiera pour recevoir et transmettre

la puissance dynamique d'un puits artésien. La perte que nous venons de signaler varie, pour une telle roue (comme pour toutes les autres machines hydrauliques), selon la perfection de son établissement, la hauteur de la chute, la quantité d'eau fournie par le courant et selon d'autres circonstances. Pour des roues à augets placées dans les meilleures conditions, et parfaitement construites, la perte peut se réduire à 20 pour 100 environ. Mais, attendu que le volume des eaux fournies par les puits artésiens est toujours faible par rapport au poids de la roue dont le diamètre doit être très-grand pour utiliser toute la chute disponible, que la faible importance des usines mues par ces puits permettra fort rarement l'emploi de mécaniciens assez versés dans les calculs théoriques pour atteindre à la perfection, et que, par conséquent, ces roues seront souvent construites dans les localités mêmes, nous pensons que la prudence conseille d'évaluer la déperdition à 30 pour 100. On prendra donc pour la puissance disponible les 0m.70 de la puissance théorique seulement.

Si l'on emploie une turbine, nouveau genre de récepteur hydraulique qui commence à se répandre et que des expériences récentes recommandent à l'attention des constructeurs, on obtiendra un résultat à peu près semblable.

On aura, dès lors, toutes les données nécessaires pour estimer l'usage que l'on pourra faire de la puissance disponible, et l'on possédera tous les éléments des calculs relatifs à la construction de la

roue ou de la turbine et des machines qu'elle sera destinée à mettre en mouvement.

99. Pour donner un exemple des calculs dont nous avons parlé dans ce chapitre, nous supposerons que le jaugeage d'un puits artésien et la recherche du point correspondant au maximum de puissance dynamique aient fait reconnaître que ce maximum se trouve à 5 mètres au-dessus du sol, et que le puits fournit, à cette élévation, 18 litres par seconde.

Pour obtenir la plus grande quantité possible de travail dynamique, on devra donc faire déverser les eaux à 5 mètres au-dessus du sol, et la puissance théorique sera 5×18 ou 90 kilogrammètres par seconde. Ces 90 kilogrammètres, multipliés par $0^{m}.70$, donneront $90 \times 0.70 = 63$ kilogrammètres pour puissance disponible, et, si l'on veut exprimer cette puissance en chevaux-vapeur, on divisera les 63 kilogrammètres par 75, ce qui donnera $\frac{63}{75}$ de cheval ou $0^{ch}.84$.

CHAPITRE IV.

Considérations générales sur les usages des puits artésiens.

100. Les usages des puits artésiens sont aussi variés que ceux que l'on peut faire d'une source abondante d'eau vive et pure : nous ne les indiquerons donc pas tous, mais nous renverrons à la notice de M. Arago, page 241, et nous nous contenterons de passer en revue les plus ordinaires ; nous consacrerons ensuite quelques chapitres aux détails d'exécution de ceux qui présentent le plus d'importance et d'intérêt.

101. En premier lieu, nous ferons remarquer l'utilité de ces sources pour l'agriculture et pour l'horticulture. Nous devons dire cependant qu'un puits artésien, si l'abondance n'en est pas grande et si les frais de construction s'élèvent très-haut, n'offre pas, à beaucoup près, autant d'avantages, lorsqu'on le consacre à la production du foin, c'est-à-dire à l'irrigation des prés, que lorsque ses eaux sont employées à la vivification de plantes d'un prix plus élevé. On ne saurait effectivement mettre en comparaison les bénéfices que donnera un puits creusé dans une prairie éloignée d'une ville, et ceux que donnera le même puits au milieu d'un vaste jardin situé dans les faubourgs d'une cité populeuse. Dans une telle position, ce puits pourrait décupler les produits vénaux du jardin, et,

par conséquent, en augmenter à la fois le revenu et la valeur foncière dans une proportion considérable.

Nous conseillons donc de borner l'emploi des puits artésiens à la culture du parterre ou du potager, dans tous les lieux où des succès peu importants sont achetés au prix de grands travaux et de grandes dépenses. Nous nous dispenserons, d'ailleurs, d'indiquer aux horticulteurs les plantes dont la production s'accroîtrait, à leur grand bénéfice, sous l'influence fertilisante de pareilles sources. C'est ainsi que des cressonnières, et en général des semis de toutes les plantes qui réclament l'humidité ou la fraîcheur, comme une condition essentielle de leur végétation, donneraient des résultats d'autant plus beaux que leur culture n'exigeant pas, à beaucoup près, autant d'eau que l'irrigation des prés, un puits foré d'un très-faible volume suffirait pour porter la vie et la vigueur dans une immense étendue de terrain.

Comme, néanmoins, il est un grand nombre de localités où l'arrosement d'un pré par un puits artésien peut être réellement fructueux, nous consacrerons un chapitre à l'examen des meilleurs moyens de diriger cet arrosement, avec la sévère économie qui doit présider à toutes les irrigations dans lesquelles l'eau n'est obtenue qu'avec mesure, par des moyens artificiels et coûteux.

102. En second lieu se présente, comme un usage important des puits artésiens, l'alimentation des villes et des habitations. On sait que, dans

certaines localités, des machines d'un établissement et d'un entretien extrêmement dispendieux sont encore regardées avec juste raison comme éminemment utiles. Toutes les fois donc que l'on pourra construire, dans une ville, des puits artésiens donnant un volume suffisant d'une eau pure et salubre, avec les conditions nécessaires pour la constance et la perpétuité des produits, on devra regarder ce moyen d'alimentation comme une faveur de la nature. On se fera une idée de l'utilité que présentent de semblables puits, quand le succès en est complet, en considérant que la nouvelle machine de Marly, dans les moments où elle marche à pleine charge, donne à la ville de Versailles un volume de 1000 litres environ par minute (*). Or un seul des puits de Touraine, le premier de M. Tessier, par exemple, dont le produit est à peu près moyen entre le plus fort et le plus faible de tous les autres, donnait, au moment de son achèvement, plus de 1800 litres d'eau par minute. Un puits semblable, quand il a été construit avec toutes les précautions convenables, dût-on dépenser quelques mille francs de plus, ne demande, d'ailleurs, ni réparation, ni entretien, ni combustible.

Ce n'est pas tout : on estime que, quand l'eau est recueillie dans des réservoirs et répartie avec

(*) Voyez l'essai sur les moyens d'élever, de conduire et de distribuer les eaux, par M. Genieys (introduction, pag. x).

économie, il faut environ 13 lit. 33 par minute et par 1000 individus (*), pour subvenir à la fois aux usages domestiques, aux emplois ordinaires, et même à l'arrosement des rues dans les villes où l'on n'exerce pas d'industrie, et la même quantité pour 200 individus, dans celles où de nombreuses manufactures réclament une quantité d'eau beaucoup plus grande. Le puits que nous venons de citer suffirait donc pour l'alimentation d'une ville de 135,000 âmes, composée de rentiers et de propriétaires, et de la cité la plus industrieuse, pourvu que la population de cette dernière cité n'excédât pas 27,000 âmes. Enfin une commune rurale, dont le bourg renfermerait un millier d'habitants, serait suffisamment pourvue par un puits artésien capable de fournir seulement 13 lit. 33 par minute ; en supposant, bien entendu, que l'eau fût recueillie, et ne s'écoulât pas en pure perte, dans les moments où personne ne se présenterait pour la recueillir.

A plus forte raison, un faible puits artésien peut-il suffire pour l'alimentation d'une propriété particulière, même rurale, dont ses eaux changeraient aussitôt l'aspect. On sait, en effet, que les maisons de campagne situées sur le sommet des coteaux sont ordinairement arides, privées d'eau, et que l'on n'y trouve la fraîcheur qu'en abandonnant le plateau et en descendant dans la vallée. Cependant ces maisons élevées sont les plus

(*) Ou 19 lit. 195 par tête, en vingt-quatre heures.

agréables, parce qu'elles jouissent d'une vue étendue et variée que rien ne remplace à la campagne; cependant encore, leurs propriétaires font souvent, pour les embellir, des dépenses bien supérieures à celles qu'entraîne la construction d'un puits artésien. Doivent-ils donc, lorsque les circonstances sont favorables, hésiter à se procurer, par ce moyen, l'eau qui peut doubler l'agrément et le prix de leurs habitations?

Il n'importe pas, d'ailleurs, absolument que le puits artésien ne puisse être foré qu'au bas du coteau, puisque ce puits fournit une force motrice à l'aide de laquelle on élève ensuite facilement une partie de ses eaux. Pour fixer les idées à cet égard, nous appliquerons le calcul à un puits donnant seulement 300 litres d'eau par minute, à la hauteur de 2 mètres. La puissance dynamique théorique sera, par seconde, 5 lit. $\times$ 2m. = 10 km. La roue qui recueillera cette puissance pourra et devra être légère, et nous en évaluerons la puissance disponible aux 0.70 de 10 km., c'est-à-dire à 7 km.; à cause de la petitesse de cette puissance, nous la réduirons de moitié, pour équivaloir aux pertes de travail supportées dans les pompes et les conduites nécessaires à l'élévation de l'eau. Il nous restera pour effet utile 3.5 km. par seconde. Si le plateau est élevé de 50 mètres, on pourra donc y amener par seconde $\frac{3 \text{ kil. } 5}{50}$ ou 0 lit. 07, et par minute 4 lit. 20 ou 6048 litres en vingt-quatre heures; c'est-à-dire la quantité suffisante pour 315

individus à raison de 19 lit. 195 par tête et par jour, dans les lieux où il n'existe aucune industrie capable d'une consommation extraordinaire (*).

Dans quelques circonstances, l'eau, par l'insuffisance de la résistance du terrain (20), ne parvient qu'à une distance plus ou moins grande en contre-bas du sol, et une pompe est nécessaire pour l'amener au-dessus de la surface. Dans ce cas, moins favorable que les autres, sans doute, les puits forés n'en peuvent pas moins rendre des services éminents dans une infinité de lieux, où l'on ne se procure qu'avec beaucoup de peine des eaux salubres et potables.

103. L'industrie manufacturière peut également tirer les plus grands avantages de l'emploi des puits artésiens. Si l'on excepte certaines opérations très-délicates, telles que la teinture, pour lesquelles les eaux de quelques puits ne sont pas toujours convenables, comme nous l'avons dit, on utilisera ces puits dans une infinité de circonstances dont nous n'entreprendrons pas de faire l'énumération, et dans lesquelles on trouvera une immense économie de main-d'œuvre. Nous devons seulement signaler la nécessité d'avoir égard à toutes les conditions de l'usage auquel on destine

(*) Le calcul que nous venons d'exposer est approximatif et doit être refait exactement pour chaque machine, selon la chute et le volume réels, ainsi que selon la hauteur à laquelle on veut élever l'eau ; mais nous avons voulu donner un aperçu de ces résultats qui méritent de fixer l'attention.

les eaux. Ainsi ces eaux, si elles n'étaient propres à la teinture pour certaines couleurs, ne seraient pas propres non plus au lavage des laines ou des autres matières textiles qui devraient recevoir ces couleurs; ainsi encore, si le lavage auquel on voudrait les appliquer exigeait un courant assez rapide, d'une vitesse d'un demi-mètre par seconde, par exemple, et que la section du canal où les eaux couleraient dût, à cause des exigences du travail, être de 2 mètres carrés, un puits artésien ordinaire ne pourrait alimenter un semblable canal avec une rapidité suffisante; car, en supposât-on le produit de 3000 litres par minute, ou 50 litres par seconde, comme celui des beaux puits de Tours, il ne donnerait pas, dans un canal ayant 2 mètres carrés de section, une vitesse moyenne supérieure à $\frac{0.50}{2}$ ou $0^{m}.025$ par seconde, vitesse qui n'est que la vingtième partie de celle que nous supposons réclamée par la nature de l'opération. Cette observation s'applique surtout aux lavoirs de laine, à ceux des teinturiers et aux autres semblables.

104. Quant aux lavoirs destinés aux blanchisseuses, les puits artésiens rendront des services immenses, dans les villes populeuses, aux quartiers éloignés de la rivière ou des fontaines propres au savonnage. C'est ainsi qu'à Tours un lavoir de ce genre, construit par M. Champoiseau, à une distance assez considérable de la Loire, est fréquenté par une foule de femmes qui évitent ainsi de s'é-

carter de leur domicile et de transporter le linge, fardeau accablant, surtout quand il est mouillé. Nous consacrerons un court chapitre à la description d'un semblable lavoir, dont l'établissement ne saurait être trop souvent imité.

105. Nous signalerons encore, parmi les usages importants des puits artésiens, l'alimentation des papeteries. Les rivières qui mettent en mouvement ces manufactures ne leur fournissent, même dans les moindres crues, que des eaux troubles impropres à la fabrication des beaux papiers; des puits ordinaires ne pourraient le plus souvent, d'ailleurs, suffire à leur grande consommation; tandis que des sources artésiennes leur donneront, au contraire, en tout temps une eau d'une limpidité parfaite. Nous ferons seulement observer que, si cette eau était notablement ferrugineuse, elle pourrait ternir les papiers, et que l'on devra soigneusement examiner si elle est exempte de ce défaut, avant de l'employer à la fabrication d'une certaine quantité de produits.

106. Nous ne dirons qu'un mot des établissements thermaux, et nous ferons remarquer que les eaux souterraines, même lorsqu'elles ne rentrent pas dans la classe des eaux chaudes, possèdent, en arrivant à la surface de la terre, une température qui dépend de la profondeur des puits, mais qui n'est guère au-dessous de 16° centig. + zéro, et qui peut s'élever beaucoup au delà. Ces eaux exigeront donc, pour parvenir au degré de chaleur convenable pour le bain, une

quantité de combustible moindre que celle qui sera nécessaire pour porter au même degré les eaux ordinaires dont la température moyenne est comprise, à Paris, entre 10 et 11° centig. + zéro.

107. Enfin, considérés comme moteurs, les puits artésiens seront infiniment utiles à toutes les industries qui, sans réclamer des forces considérables, devront être exercées précisément sur tel ou tel point ; aux industries, par exemple, qui ne sont avantageusement placées que dans le centre des villes. Alors il deviendrait indispensable de recourir à l'emploi de la vapeur ; mais la construction d'un puits artésien, toutes les fois que les circonstances locales permettront de se procurer la puissance suffisante, sera bien préférable, puisque les seuls frais d'établissement de la machine à vapeur s'élèveraient presque toujours au-dessus de la dépense nécessaire pour la construction du puits. L'importance des sources artésiennes, considérées sous ce nouveau point de vue, nous a engagé à traiter ce sujet dans un chapitre spécial que nous terminerons par des considérations sur l'application de ces sources aux béliers hydrauliques.

CHAPITRE V.

De l'usage des puits artésiens pour l'irrigation des prés.

108. Quelque considérable que soit le volume de l'eau d'un puits artésien, ce volume sera encore assez faible et assez cher pour que l'emploi doive en être réglé par la plus stricte économie : c'est assez dire qu'il faudra renoncer à la submersion totale pratiquée dans la plupart des irrigations où l'on dispose d'une rivière dont on fait refluer les eaux de manière à occasionner une inondation.

On ne pourra donc recourir qu'à la méthode qui consiste dans la distribution régulière du fluide, au moyen de rigoles principales destinées à le conduire sur les différents points de la prairie; ces rigoles principales représenteront les artères du système, tandis que d'autres rigoles secondaires, alimentées par les premières, tiendront lieu des innombrables vaisseaux dont les ramifications portent dans le corps humain la nutrition et la vie.

109. La dépendance mutuelle des rigoles dont nous parlons exige, comme première condition, que le puits artésien soit situé sur le point culminant de la distribution. Par cette expression, nous n'entendons pas cependant désigner le point culminant de la prairie; il arrive souvent, en effet, qu'un monticule isolé s'élève en mamelon au-dessus de toutes les autres parties auxquelles il ne

pourrait transmettre le fluide qu'au moyen d'aqueducs ou de quelque autre construction analogue. Or nous ne conseillons pas l'emploi de ces moyens artificiels, lorsque l'on peut les éviter, parce que la construction en est assez coûteuse, l'entretien précaire et assujettissant. Nous décrirons cependant, un peu plus loin, ceux qui nous semblent devoir être préférés, lorsque la configuration du sol ne permet absolument pas de se dispenser d'y recourir.

110. Pour déterminer la place où doit être pratiqué le sondage, on recherchera donc les points les plus élevés et les points les plus bas de la prairie, en parcourant cette prairie, et en plantant un jalon sur chacune des parties où les indications de l'œil, la qualité de l'herbe, le sens de l'écoulement des eaux feront apercevoir un exhaussement ou un abaissement du sol. On liera, par un nivellement préparatoire, ces points et les terrains qui conduisent de l'un à l'autre, et l'on en lèvera un plan visuel approximativement exact.

Alors on aura les données requises pour le tracé d'un avant-projet de distribution, et nous allons nous étendre avec d'autant plus de détail sur la manière de procéder à l'exécution, que l'on ne trouve rien ou presque rien à cet égard dans les ouvrages spéciaux, dont les auteurs se contentent d'insister beaucoup sur la partie agronomique des irrigations, sans indiquer les conditions que les lois de l'hydraulique imposent dans une bonne opération de ce genre : aussi l'inobservation de ces lois rend-

elle trop souvent infructueuses des entreprises qui devaient réussir, parce qu'elles possédaient tous les éléments du succès.

Lors donc que l'on est muni des documents dont nous venons de parler, on compare les cotes, et l'on examine, parmi les points les plus élevés, quel est celui qui peut servir de centre d'alimentation et permettre de distribuer les eaux sur une plus grande étendue, avec le moins possible de travaux de remblai. S'il est même nécessaire, pour éviter ces travaux, de renoncer à répandre le bienfait de l'irrigation sur quelques sommités isolées et que ces sommités n'aient qu'une petite étendue, on ne doit pas hésiter à les en priver. On recherche, d'ailleurs, quelles sont les lignes de plus grande pente dans les plis du terrain, et l'on y indique la place des rigoles de desséchement. Après avoir choisi le centre d'alimentation, d'après ces considérations, on y fait forer le puits artésien : tant que la construction n'en est pas terminée, l'incertitude sur la quantité et la qualité de ses eaux ne permet de prendre aucune mesure importante; mais, lorsque enfin la sonde atteint la source et que l'eau jaillit, les fluctuations de la crainte et de l'espérance font place au calme de la certitude, et les préparatifs de l'exécution doivent commencer.

111. Ainsi que nous l'avons dit, les eaux fournies par les puits artésiens sont ordinairement propres à l'irrigation ; mais, comme il se présente de rares exceptions, et que, dans certains cas, on peut rencontrer des sources chargées de substances

minérales, il est toujours indispensable de procéder à une analyse exacte avant de faire les travaux nécessaires pour la distribution. Cette analyse devra, non-seulement rechercher si les eaux contiennent des substances étrangères, mais encore si elles sont suffisamment aérées. A la vérité, le contraire ne semble pas devoir arriver, si ce n'est dans quelques cas très-rares, puisque ces eaux, ayant d'abord coulé à la surface de la terre avant de s'infiltrer dans ses entrailles, ont dû, pendant qu'elles étaient en contact avec l'air atmosphérique, dissoudre les quantités d'oxygène et d'azote que contiennent les eaux ordinaires. Mais, puisqu'à la rigueur une circonstance fortuite peut les en avoir dépouillées, la prudence exige qu'elles soient examinées sous ce rapport, et nous conseillons même, comme moyen de comparaison et d'expérience, supérieur à toutes les prévisions théoriques, de les employer, avant tout, à l'arrosement d'une petite portion de la prairie, afin de juger de leurs effets, par cet essai partiel.

112. Nous supposerons maintenant que ces recherches préliminaires et indispensables aient donné une solution satisfaisante. Il s'agira de constater l'étendue de prairie sur laquelle on pourra étendre l'irrigation.

Le premier élément de la question sera évidemment la connaissance de la quantité de l'eau affluente au niveau du point qui aura été choisi pour centre de distribution. On se procurera cet élément en jaugeant le puits par l'une des méthodes

que nous avons exposées, et, comme le jaugeage devra se faire à la hauteur du sol, on ne pourra se servir de la méthode par empotement que quand un fossé voisin beaucoup plus bas permettra l'écoulement des eaux du cuvier, ou bien en se résolvant à faire vider, d'abord avec des seaux, puis avec une grosse éponge, le cuvier, qu'il faudra enfoncer en terre. Il est si important de mettre de l'exactitude dans cette opération, que l'on fera bien, ordinairement, de se décider à prendre ce surcroît de peine; car, nous le répétons, la méthode de jaugeage par empotement est de beaucoup supérieure à toutes les autres. Lorsque, cependant, on ne voudra pas l'employer, on préférera, parmi les méthodes qui viennent ensuite, celle qui consiste à faire passer l'eau par une échancrure rectangulaire pratiquée dans une planche mince, ou dans une feuille de tôle formant déversoir.

Lorsque l'on connaîtra le produit du puits, on devra fixer ses idées sur la quantité réclamée par hectare, afin d'asseoir immédiatement son jugement sur le nombre des hectares auxquels le puits suffira. Or cette dernière partie de la question présente de telles incertitudes, qu'il sera ordinairement, ou plutôt toujours, impossible de la résoudre sans recourir à des expériences. En effet, la légèreté et la perméabilité du terrain, les taupinières dont il peut être sillonné, les crevasses dont il peut être déchiré, et plusieurs autres causes, exercent une si grande influence sur l'absorption du fluide, qu'il est impossible de déterminer d'avance *avec précision* une

quantité quelconque. En vain essayerait-on d'assimiler l'irrigation conduite avec le plus de soin et d'économie, à une pluie même très-abondante, parce que cette pluie, atteignant d'abord l'herbe et coulant lentement sur le sol, ruisselle peu et s'infiltre en presque totalité. Au contraire, les nappes d'eau que l'irrigation par déversement étend à la surface de la prairie s'écoulent rapidement, ne pénètrent pas à une grande profondeur dans le terrain et se consomment inutilement en grande partie.

Quoi qu'il en soit, si l'on considère qu'il ne tombe moyennement à Paris que 50 centimètres environ de pluie pendant toute une année, on fera une large part à la déperdition, en supposant, comme aperçu, qu'une lame d'eau de 0m.05 d'épaisseur soit suffisante, lorsque l'irrigation est bien conduite, et que la nature ou l'état du terrain n'est pas défavorable. On aura soin, d'ailleurs, de ne jamais laisser dessécher le sol jusqu'à ce qu'il se crevasse, et cette attention procurera une grande économie d'eau. Une lame de l'épaisseur de celle que nous venons de citer, étendue sur un hectare (10,000 mètres carrés), représente 500 mètres cubes. Un puits artésien qui donnerait 1500 litres par minute (c'est moins que la moyenne du produit de ceux de Tours à la hauteur du sol) suffirait donc pour arroser, en vingt-quatre heures, 4hect.32, et, en revenant seulement tous les dix ou douze jours sur la même partie de pré, on fertiliserait de 40 à 50 hectares.

Toutefois, hâtons-nous de dire que les résultats de ce compte seraient très-exagérés dans une infinité de circonstances. En effet, si l'on ne se décide pas à sacrifier du terrain et à construire un réservoir dont le fond soit au niveau du sol et qui permette d'accumuler l'eau, pendant la nuit et pendant les interruptions nécessaires de l'irrigation; si les digues de ce réservoir, les petites vannes de décharge et tous les autres obstacles à la déperdition du fluide ne sont pas bien étanches; si l'irrigation est conduite avec précipitation; si le terrain est desséché ou fendillé; si la température est très-élevée et l'air très-sec, on verra s'accroître, dans une proportion fort considérable, la consommation de l'eau. Nous n'avons donc voulu donner qu'un de ces aperçus vagues qui fixent provisoirement les idées sur un chiffre plus ou moins bien établi; mais nous conseillons à tous les agriculteurs de faire, sur une portion de leur prairie, l'essai de la quantité d'eau qu'elle exige dans les différentes circonstances que nous venons de signaler, et de déterminer, en conséquence, l'étendue qu'ils peuvent réellement faire participer à l'irrigation, avant de bouleverser tout leur domaine, par des ouvertures de rigoles et des mouvements de terres.

113. Nous avons maintenant à décrire les moyens qu'il est convenable d'employer pour effectuer la distribution dans les différentes parties de la prairie, et nous n'indiquerons d'autres règles de tracé que celles de donner aux rigoles principales une pente uniforme, de les diriger de manière

qu'elles puissent alimenter toutes les rigoles secondaires dont les ramifications doivent s'étendre dans toute la prairie; enfin, de manière que l'eau, après avoir été déversée en nappe sur la surface, puisse être recueillie dans de nouvelles rigoles, dites *de desséchement*, qui délivreront le terrain du superflu. La figure 14 donne une idée de ces dispositions, qui varient beaucoup selon la configuration du sol, mais qui doivent toutes être dirigées d'après les règles que nous venons de poser. Nous avons réuni, dans cette figure, des exemples de toutes les modifications que la forme du terrain peut apporter dans l'exécution.

On sait que, communément, une prairie est un terrain souvent couvert par les eaux qui y ont formé, dans quelques parties, des sur-élévations d'une pente douce, mais que la surface du sol, considérée en totalité, a toujours une inclinaison générale vers le thalweg de la vallée, et souvent une contre-pente vers le pied du coteau. Nous avons donc représenté le ruisseau ABC, qui coule de A en C, et dont la pente est, par conséquent, dirigée dans ce sens, comme fournissant à la prairie le moyen de desséchement.

D est le puits artésien situé auprès du réservoir d'alimentation, mais en dehors de ce réservoir, afin que l'on puisse approcher facilement de l'orifice. E représente un monticule qui n'a pas été compris dans le système d'irrigation ; nous supposons que de D en F, où est situé le coteau ou le plateau, se trouve une contre-pente, et que l'on ait

tracé, selon la ligne de plus grande pente, la rigole de desséchement GHI, qui se jette dans le ruisseau (souvent on n'a pas besoin d'ouvrir cette rigole, et l'on trouve un ravin tout formé). K est un monticule qui domine tout le sud et tout l'ouest de la prairie, et qui, par conséquent, devait être compris dans l'irrigation; mais qui, se trouvant isolé de toutes parts, n'a pu recevoir l'eau qu'au moyen du petit aqueduc LM, qui transporte cette eau dans le réservoir secondaire N.

Les rigoles OPQ, RS et UV sont les rigoles principales et suivent tous les contours du terrain, de manière que leur pente reste toujours uniforme. De distance en distance, sont de petites vannes destinées à maintenir l'eau, d'abord dans la première division (la plus rapprochée du réservoir), puis dans la seconde et ainsi de suite. Ces rigoles principales perdent de leur section à mesure qu'elles s'éloignent du centre, et se terminent même en formant quelques ramifications de rigoles secondaires. XYZ, *xyz*, GHI sont les rigoles de desséchement; mais XYZ sert à la fois de rigole de desséchement pour la partie de prairie arrosée par la rigole principale OPQ, et de rigole principale pour la partie plus basse comprise entre XYZ et *xyz*; aussi cette rigole est-elle également garnie de petites vannes qui y retiennent l'eau fournie par OPQ, et la font refluer dans les rigoles secondaires; celles-ci la versent sur le terrain, et de là elle coule dans la rigole de desséchement *xyz* : *ab* est le canal par lequel l'eau du ré-

servoir s'écoule dans GHI, quand on ne pratique pas l'irrigation. Enfin, toutes les fois qu'il se trouve dans la prairie des bas-fonds qui ne pourraient avoir d'écoulement, on doit en détourner les rigoles avec beaucoup de soin, et même empêcher, au moyen de petites digues en terre, les eaux d'y parvenir.

Le nombre des rigoles principales est déterminé par les exigences du terrain et par la nécessité de transporter l'eau sur le plus grand nombre possible de points. Quant aux rigoles secondaires, le nombre en est proportionné à l'étendue et à la perméabilité du terrain; on les espace, en général, de 8 à 15 mètres.

Les dimensions des premières dépendent du volume de l'eau, de la vitesse qu'il est nécessaire de lui donner, de la pente dont on peut disposer, et de la longueur des rigoles supposées développées en une ligne droite.

114. Nous remarquerons d'abord que la conservation des berges des rigoles exige que l'eau s'y meuve avec très-peu de vitesse. A la vérité, cette vitesse étant fort petite, il pourra en résulter, dans le bas des rigoles, des dépôts terreux, qui exigeront un curage fréquent; mais on ne préviendrait pas ces dépôts, surtout ceux des sables qui sont presque toujours fournis par les puits artésiens, même en augmentant démesurément la vitesse, au grand détriment des berges dont les réparations seraient plus difficiles et plus coûteuses qu'un simple curage.

On n'a pas, d'ailleurs, à craindre que, pendant la courte durée d'une irrigation, la lenteur du

mouvement de l'eau puisse en altérer la salubrité.

En donnant ainsi une très-faible vitesse à l'eau qui circule dans les rigoles d'irrigation, on a encore l'avantage de réaliser une économie précieuse et indispensable, celle de la pente, économie sans laquelle on ne peut, à beaucoup près, conduire les eaux aussi loin qu'avec une pente bien ménagée.

Or Dubuat a mis en mouvement, sur un plan incliné, les différentes matières suivantes, au moyen des vitesses que nous allons citer :

	Vitesse par seconde.
Argile propre à la poterie. . .	0m.08
Sable fin.	0m.16
Gravier de la Seine, gros comme des pois.	0m.19

(Voyez l'hydraulique de M. d'Aubuisson de Voisins.)

Mais ces matières, placées dans un canal de bois incliné, ne présentaient pas une résistance égale à celle qu'elles opposent quand elles sont tassées et qu'elles forment le lit d'un ruisseau. De plus, la vitesse du fond est toujours moindre que la vitesse moyenne, dont elle n'atteint à peu près que les 0.75 (voyez la note cinquième).

On peut donc porter sans inconvénient la vitesse moyenne de l'eau dans les rigoles principales à 0.m120, ou tout au plus à 0m.150 par seconde; mais on ne doit jamais la rendre plus grande dans les rigoles d'irrigation où l'on ne veut pas

éprouver d'érosion, et où l'on préfère, au contraire, recueillir des dépôts. Au reste, la nature du terrain devra évidemment être prise en considération, et pourra déterminer à augmenter ou à diminuer un peu les nombres que nous venons d'indiquer.

Pour limiter la vitesse au chiffre que l'on aura fixé, il sera nécessaire de recourir aux formules des canaux ; mais on ne devra jamais perdre de vue qu'à cause des irrégularités du terrain, des herbes et des corps étrangers que le canal ou la rigole peut contenir, la dépense et la vitesse moyenne de l'eau n'atteindront ordinairement que les deux tiers (ou même la moitié, lorsque le curage n'aura pas été fait depuis longtemps) de celles qui seront indiquées par le calcul théorique (voyez la note sixième).

115. Il serait impossible de traduire en langage ordinaire toutes les règles de calcul que renferment les formules citées dans cette note, et nous engageons ceux de nos lecteurs qui ne pourraient en faire usage eux-mêmes à s'adresser à quelque personne versée dans la connaissance de l'algèbre, en la priant de dégager celles des quantités inconnues qu'il s'agira de déterminer. Grâce aux progrès que l'instruction mathématique a faits en France depuis quarante ans, il n'est plus aucune commune, si retirée qu'on la suppose, à peu de distance de laquelle on ne puisse trouver d'anciens élèves de l'école polytechnique, ou des ingénieurs, ou des professeurs de mathématiques spéciales,

auxquels ce travail ne présentera pas la moindre difficulté.

116. Lorsque l'on aura ainsi déterminé les dimensions et la pente des rigoles, il faudra procéder au tracé définitif de la distribution. Cette opération demandera d'autant plus de soin que la pente à donner par mètre sera plus petite. On conçoit, en effet, que, si cette pente est seulement de $0^{m}.00015$, on n'obtiendra un règlement si précis, ni par l'emploi du niveau brut d'un maçon, ni par les soins des terrassiers, qui sont accoutumés à ne donner jamais, dans les rues des villes, moins de trois millimètres de pente par mètre, tandis que, dans le cas dont nous parlons, il en faudra donner vingt fois moins. L'emploi exclusif du niveau à lunette, joint à des vérifications minutieuses, pourra seul assurer une parfaite exactitude.

Pour trouver facilement sur le terrain les points qui suivent la pente demandée, il faut, quand on passe au tracé définitif, mettre une distance constante entre ces points, par exemple 10 mètres. Alors l'ingénieur, plaçant solidement son niveau, en dirige la lunette vers le point de départ, où il fait enfoncer un piquet bien affermi par les coups d'une forte masse. Il fait alors élever convenablement le voyant de la mire; puis, si la pente a été réglée à $0^{m}.0003$ par mètre, par exemple, il fait placer, au point de repère, une fiche et l'anneau d'un décamètre. La fiche doit être maintenue, dans sa position verticale, par un homme, afin que la tension ne puisse la renverser. On élève alors le voyant de

0m.003 (= 0.0003 × 10), et le porte-mire se tenant éloigné du premier point, de 10 mètres indiqués par le décamètre, auquel il fait décrire un arc de cercle, en le tenant toujours tendu, cherche le point auquel l'intersection des lignes du voyant, qu'il laisse immobile pendant toute cette recherche, correspond à la croisée des fils du réticule. Il est évident que, quand cette condition est remplie par tâtonnement, le point sur lequel est alors posée la mire se trouve à 10 mètres du premier et de 0m.003 moins élevé. On y porte la fiche et le premier anneau du décamètre; on élève encore le voyant de 0m.003 et l'on détermine un nouveau point.

On continue ainsi jusqu'à ce que l'éloignement rendant le pointé moins sûr, on soit obligé de rapprocher le niveau. La figure 17 donne une idée de cette opération, qui est représentée en plan. Le trait ponctué indique l'arc de cercle que l'anneau A du décamètre décrit pour trouver le point convenable. B est l'anneau dans lequel passe la fiche; C est le niveau.

Je recommande ce moyen de régler les pentes comme très-commode et très-exact. Il va sans dire, au reste, que la distance de 10 mètres entre les différents points n'a rien d'obligatoire, et que, dans les terrains d'une inclinaison bien uniforme, on pourra remplacer le décamètre par un cordeau, et prendre une distance constante beaucoup plus grande; ce qui rendra plus sensible la différence de niveau entre chaque point et celui qui le suivra.

117. On peut désirer quelques notions sur les

quantités de liquide qui sont consommées par les filtrations et par l'évaporation.

Or les filtrations ne sont autres que l'imbibition de l'eau dans le terrain, et nous avons déjà estimé que, pour satisfaire à cette imbibition et aux déperditions, il était nécessaire d'employer au moins 500 mètres cubes d'eau par hectare; nous avons même averti de la possibilité de voir, dans beaucoup de circonstances, cette quantité s'élever notablement plus haut. Nous allons donner encore, comme point de comparaison, quelques autres indications.

Un auteur, M. Léorier (*Nouvel essai sur les irrigations des prairies*, page 46), dit que, sur le territoire d'Arles, une lame de 0m.08 d'épaisseur (800 mètres cubes) est nécessaire pour l'irrigation d'un hectare; mais il pense que, dans les départements du centre de la France, il suffirait d'une lame de 0m.027 d'épaisseur (270 mètres cubes). Ce n'est pas assez selon nous, dans ce dernier cas, à cause des déperditions inévitables, et M. de Borda a trouvé qu'il fallait 0m.08 d'épaisseur ou 800 mètres cubes, sur le sol aride du département des Landes. Il est remarquable que le chiffre 500 mètres cubes, auquel nous sommes parvenu par d'autres considérations, est à peu près moyen entre ces résultats.

Quant à l'évaporation de l'eau, la perte sur une surface *exposée au grand air, en été*, est de 0m.0027 d'épaisseur par heure (Genieys, *Essai sur les moyens de conduire, d'élever et de distribuer les eaux*, page 20). Cette observation peut donner

quelque idée de la perte la plus grande possible à subir, dans les cas les plus défavorables, sur une surface soumise à l'irrigation. Au reste, comme le fluide répandu dans une prairie se trouve abrité contre les rayons du soleil et contre le renouvellement de l'air par les molécules terreuses qu'il a pénétrées et par les tiges de l'herbe, qu'il est alimenté d'ailleurs par les rosées, très-abondantes dans les prairies, il s'évapore réellement en quantité infiniment moindre (*).

118. Toutes les dimensions des ouvrages ayant été réglées au moyen des formules et des considérations que nous avons exposées, on procède à l'exécution en faisant enfoncer un nombre suffisant de piquets dans l'axe de toutes les rigoles. Il est commode de donner aux têtes de ces piquets la pente réglée par le plafond. Les ouvriers n'ont alors qu'à faire le déblai à une profondeur toujours égale en contre-bas de chaque piquet.

Les excavations achevées, on vérifie l'opération, et l'on examine si le plafond des rigoles suit bien la pente indiquée; puis, afin que cette pente ne puisse s'altérer plus tard et que l'on ne soit pas obligé de revenir à tout instant avec le niveau pour la retrouver, on enfonce tous les piquets de manière à les araser avec le plafond. Pourvu que l'on rende les piquets assez nombreux, les terrassiers chargés du curage n'ont plus ensuite, pour retrouver en tout temps la pente, qu'à tendre un cor-

(*) L'évaporation *totale annuelle*, à Paris, est seulement $0^m.868$.

deau sur deux petits piquets postiches, selon la méthode des paveurs.

L'exécution des rigoles ne nous semble demander aucune explication : pour les rigoles principales, elle ne diffère pas de celle des fossés ordinaires ; et, pour les rigoles secondaires, on se borne à trancher le gazon, à l'enlever, et à dresser le fond et les parois.

On doit mettre soigneusement en réserve le gazon que l'on enlève et en former des tas, avec toutes les précautions nécessaires pour l'empêcher de se dessécher ou d'éprouver la fermentation putride. Ce gazon est extrêmement utile pour le revêtement des digues, des talus, et de tous les ouvrages de remblai. Nous reviendrons, plus loin, sur la manière de l'employer.

119. La construction des digues destinées à empêcher les eaux de se répandre dans les bas-fonds, ou bien à servir d'aqueducs (comme la digue L M, fig. 14), demande beaucoup d'attention. Ces digues ont tout à craindre du passage des eaux, soit pendant l'irrigation, soit surtout dans les inondations, auxquelles la plupart des prés sont exposés.

Si l'on se borne à faire une petite jetée de terre, on ne tardera pas à reconnaître que l'on a prodigué en pure perte une main-d'œuvre toujours assez chère. Pour éviter ce grave inconvénient, on commencera par enlever tout le gazon de la place sur laquelle on devra former la digue; puis on construira cette digue en retirant soigneusement les racines, les branches, et en général tous les

corps étrangers : on la foulera avec les pieds en passant et en repassant dessus; seulement on aura soin de presser plus légèrement les trois ou quatre centimètres de terre que l'on posera en dernier lieu, afin que les racines du gazon puissent reprendre facilement. Comme la terre ne manquera pas de se tasser considérablement dès qu'elle sera mouillée, et qu'il sera nécessaire d'apprécier d'avance les effets de ce tassement, on arrosera, avec la plus grande précaution, mais de manière à la détremper complétement, une longueur de 2 mètres, et l'on constatera l'abaissement qui résultera de cette opération. La hauteur à donner au reste de la digue sera réglée en conséquence.

Si la digue doit servir d'aqueduc, on la construira pleine, et l'on y ouvrira la tranchée seulement après l'avoir suffisamment foulée, et, beaucoup mieux encore, après l'avoir laissée se détremper et se tasser complétement, pendant les pluies ou les inondations.

Les différentes digues dont nous venons de parler sont exposées à être submergées, plusieurs fois par année, dans la plupart des prés. Or on sait qu'une digue dont le talus est assez rapide pour présenter une chute sensible à l'eau qui la surmonte est aussitôt coupée et emportée; si l'on veut donc que les ouvrages de cette nature soient durables, il faut y pratiquer un talus tel que l'eau, quand elle viendra à les dépasser, ne puisse prendre sur leur revers qu'une très-faible vitesse. Je conseille

de donner au talus 10 de base au moins pour 1 de hauteur. La figure 18 représente la coupe d'une digue-aqueduc de ce genre. La figure 19, au contraire, retrace une autre digue, aussi destinée à servir d'aqueduc, que j'ai vu construire pour une irrigation. Il va sans dire que, dès que l'on a voulu en commencer l'usage, l'eau en a renversé les parois, et n'est pas même arrivée à l'extrémité.

Lorsque les digues et tous les autres travaux de remblai ont été terminés selon ces prescriptions, on les revêt du gazon enlevé de la place qu'ils occupent; et, comme ce gazon ne serait pas suffisant, puisque le profil du remblai est plus long que sa base, on y consacre celui que l'on retire des places des rigoles. On doit donc avoir l'attention de conduire les travaux simultanément, de manière que ces gazons puissent être employés sans avoir subi d'altération. Quelques personnes se contentent de les frapper, et se reposent, pour leur affermissement, sur la puissance de leur végétation, et sur les bons offices de la pluie : mais il est plus sûr de les arroser légèrement, jusqu'à ce que leur verdure ne donne plus de crainte pour la reprise; et, si l'on a lieu de redouter quelque inondation avant leur enracinement, il est prudent de les cheviller. On fait cette opération en enfonçant au milieu de chaque carreau de gazon un petit piquet, coupé dans une branche de saule ou de peuplier. Il suffit que chaque piquet ait 0m.20 de longueur sur 0m.01 de dia-

mètre. C'est, comme on le voit, un travail si facile qu'il peut être exécuté par un enfant.

120. La construction du réservoir, des barrages, des prises d'eau, des vannages, ne demande d'autres soins que ceux qui sont employés dans les constructions hydrauliques les plus simples. Nous engageons néanmoins les propriétaires à les bien faire, et surtout à ne pas y employer le mortier de chaux grasse et de sable, lors même qu'ils croiraient avoir le temps de laisser prendre le mortier avant de le submerger. Le mélange de chaux grasse et de ciment de tuileau ou d'autres matières analogues est assez hydraulique, pourvu qu'on lui donne le temps de prendre, et de se durcir ensuite sous l'eau : mais rien n'est préférable à l'emploi d'un bon mortier composé de sable et de chaux réellement hydraulique. On doit d'ailleurs restreindre l'emploi des maçonneries, sans cependant négliger la solidité des ouvrages.

Le conduit qui amène les eaux du puits artésien dans le réservoir peut recevoir des dispositions très-variées. Nous n'insisterons donc sur aucune de ces dispositions, dans lesquelles la principale règle qu'il importe de suivre est d'empêcher que l'eau, en arrivant, n'occasionne des affouillements dans le fond, et surtout dans les talus du réservoir. Ces talus devront recevoir une pente suffisante. J'ai vu souvent, dans des canaux d'usines, celle de 45 degrés être trop faible, quoique l'on puisse quelquefois s'en contenter : je conseille de donner

ordinairement 1 et $\frac{1}{2}$ de base pour 1 de hauteur.

121. Les vannages ou empellements, semblables, en petit, aux vannages de décharge d'un moulin, seront garnis de deux montants et d'un chapeau, qui ne permettront à personne d'en retirer la pelle. Si l'on ne prend cette précaution, les maraudeurs l'emporteront, ou tout au moins les curieux la déplaceront, et la laisseront se dessécher et se tourmenter sur l'herbe du pré. Les montants seront engagés dans des rainures de pierre de taille, le reste de la maçonnerie sera en bon moellon posé à bain de mortier, un empatement pénétrera des deux côtés dans les bords de la rigole, et un massif supportera le tout. En avant et en arrière de ce massif, un petit corroi de terre glaise bien pilonée, et de 0^{m}.16 d'épaisseur, préviendra les infiltrations qui pourraient se produire par-dessous. Dans le fond de la rigole, à l'amont et à l'aval de la vanne, on couchera, pour empêcher tout affouillement, une planche d'un mètre et demi de longueur, clouée sur quatre piquets, et servant de radier. La vanne s'élèvera et s'abaissera à la main; on la maintiendra à la hauteur convenable par le moyen d'une cheville qui en traversera la queue et s'appuiera sur le chapeau. Tous ces bois seront enduits de goudron mêlé de suif. Pour empêcher toute infiltration entre les montants et la pierre, on aura soin de faire bâiller un peu le joint, jusqu'à une profondeur de 0^{m}.027, et de le bourrer d'étoupe suivée que l'on matera fortement. Les figures 20, 21, 22 représentent

ces dispositions, en face, en profil et en plan (*).

122. Lorsque l'on veut effectuer l'arrosement, on introduit l'eau dans les rigoles principales, et on la retient au point convenable par la fermeture des vannes de ces rigoles ; elle ne tarde pas à s'élever dans la partie où on lui a permis d'entrer, et à pénétrer dans les rigoles secondaires qui y puisent. Là, on arrête son cours au moyen d'une ardoise ou d'une motte de gazon ; elle s'élève donc, et, comme la pente est uniformément observée, elle ne tarde pas à déborder en nappe sur une portion de terrain ordinairement assez grande, parce que les prairies sont presque toujours à peu près planes et soumises à une pente insensible assez régulière. Lorsque le point où l'on se trouve est suffisamment arrosé, on ferme les rigoles secondaires qui l'alimentent et l'on se transporte sur le point immédiatement inférieur, en ouvrant la première vanne de la rigole principale, fermant la seconde vanne, et opérant dans les rigoles secondaires de la manière que nous venons de décrire. Si l'on conduit l'irrigation avec soin, en donnant à la terre le temps de s'imbiber, on perd peu de

(*) Explication de ces figures.

Les mêmes lettres répondent aux mêmes objets dans les trois dessins.

G, G, corroi de terre glaise.

M, M, mur fondé sur un petit massif de maçonnerie.

S, S, seuil de la vanne.

P, P, planches servant de radier d'amont et d'aval.

V, V, vanne engagée dans ses montants.

liquide et l'on parvient facilement à arroser une grande étendue. Comme néanmoins il s'en échappe toujours une assez grande quantité qui se rend dans les rigoles de desséchement, il faut, si ces rigoles mêmes servent aussi de rigoles d'irrigation pour une partie plus basse de la prairie, fermer les vannes avec soin, afin d'y retenir le fluide, et de le conduire sur les parties qu'il doit arroser.

123. La méthode d'irrigation que nous venons de décrire n'est pas exempte de quelques inconvénients ; elle exige, comme on le voit, l'entretien des rigoles, et le sacrifice à peu près complet du terrain occupé par ces rigoles : on a donc cherché les moyens de la remplacer. Plusieurs de ces moyens ne conviennent que quand on peut disposer du volume d'une rivière, et submerger la prairie; par exemple, lorsque l'on peut retenir les eaux d'un moulin. Dans ce mode d'opération, dont nous ne pouvons nous occuper, parce qu'il est tout à fait impraticable, lorsque l'on ne possède que le petit volume d'un puits artésien, le principal soin de l'agriculteur doit être de délivrer entièrement l'herbe de l'eau surabondante, dès que cette eau devient inutile; mais il est un autre moyen que j'ai vu tenter et que je crois devoir indiquer, parce qu'il peut être utile dans les cas fort nombreux où la prairie présente une surface plane d'une inclinaison insensible et régulière.

Il consiste à partager le terrain (fig. 23) en différents carrés séparés par des digues, et alimentés

par des rigoles, ou par des digues-aqueducs, dont on y verse les eaux en tranchant momentanément une de leurs parois que l'on répare ensuite. Lorsque l'un des carrés, par exemple le carré A, est suffisamment arrosé, on ferme la saignée S par laquelle on a fourni l'eau à ce carré; puis, en tranchant la digue en *a*, on fait passer dans le carré B le liquide surabondant, dont on augmente la quantité en ouvrant en *b* la paroi de la rigole ou de la digue-aqueduc. On continue ainsi, jusqu'à la fin de l'irrigation, en perçant successivement chaque digue, et réparant ensuite l'ouverture. Ce moyen n'occasionne pas autant de pertes de terrain, ni de soins minutieux que le précédent; mais il consomme plus d'eau, parce que le pré étant incliné, si l'on veut avoir une lame de 0m.05 d'épaisseur en A (fig. 24), il faut souvent donner en B une lame de 0m.15. Au reste, comme l'eau passe ensuite dans les carrés suivants, la perte, en définitive, n'est pas considérable, et nous regardons cette méthode comme fort bonne, toutes les fois que la parfaite régularité du terrain permet de l'employer.

124. On doit éviter, comme nous l'avons dit, de faire couler des eaux salines ou minérales sur les racines des plantes dont leur action corrosive anéantit la végétation. Les eaux des puits artésiens étant ordinairement pures, douces et tièdes, lorsque ces puits pénètrent à une grande profondeur, rempliront toutes les conditions désirables, et se réchaufferont encore pendant l'été

en parcourant en lame mince toute la surface de la prairie.

L'effet des irrigations augmente en raison de la chaleur et de l'aridité du sol, et reste à peu près nul sur les terrains situés assez près du niveau de l'eau, pour souffrir peu de la sécheresse : dans ce cas, l'irrigation, si elle doit être achetée à grands frais, ne rembourse pas les dépenses qu'elle a occasionnées. C'est donc principalement sur les terrains chauds et desséchés que l'on doit faire porter ce genre d'amélioration, qui en augmente extraordinairement les produits.

Les premières irrigations se font avant l'hiver, avec les précautions que nous allons recommander contre les gelées ; on doit les rendre abondantes, et l'on n'a presque jamais à craindre l'excès, à moins que la saison ne soit pluvieuse.

En hiver, l'irrigation est souvent sans objet et sans avantages; elle a même l'inconvénient d'exposer beaucoup l'herbe, s'il survient une gelée avant que le terrain ne soit parfaitement ressuyé.

On doit avoir surtout égard à cette observation dans le printemps, si l'on ne veut causer de grands dommages. Lorsque la végétation s'annonce, on arrose jusqu'à la fenaison, selon le besoin de l'herbe, et en éloignant ou en abrégeant d'autant plus l'irrigation que l'on approche davantage de l'époque de la maturité ou que l'herbe, qui a dû être convenablement arrosée avant sa croissance, parait demander moins d'eau.

D'ailleurs on aura soin, comme nous l'avons

déjà dit, de délivrer la prairie du liquide surabondant, dès qu'elle sera suffisamment arrosée, condition qui n'est pas moins nécessaire que l'irrigation même, et sans l'accomplissement de laquelle on change souvent toutes les parties basses d'un excellent pré en marais chargés de plantes aquatiques.

Tant que l'herbe est debout, elle entretient la fraîcheur, et défend la terre contre les ardeurs du soleil, qui brûle la prairie et qui la couvre de crevasses, dès qu'elle est dépouillée de sa récolte. Aussi doit-on arroser presque aussitôt que les foins sont enlevés. Un délai de quinze jours, dans une saison sèche, laisserait le sol se fendiller, et occasionnerait ensuite une consommation d'eau considérable.

Lorsque l'herbe commence à s'élever, on doit redoubler de soin pendant l'irrigation, pour éviter de la briser par la marche, ou d'en noyer la tige. Comme, d'ailleurs, l'eau, en passant dans les rigoles, peut se charger d'une certaine quantité de vase légère, ce serait s'exposer à altérer la qualité du foin que de faire élever l'eau trop haut, et l'on doit se borner à mouiller le pied de l'herbe.

Nous ne croyons pas devoir nous engager dans des considérations agronomiques plus étendues, et nous laissons aux cultivateurs le soin de régler, selon leur expérience et les exigences du climat et du sol, toutes les circonstances accessoires de l'emploi des puits artésiens dans les irrigations.

CHAPITRE VI.

Usages des puits artésiens, pour l'alimentation des lavoirs publics.

125. Ainsi que nous l'avons dit, dans nos réflexions générales sur les usages des puits artésiens, la construction des lavoirs publics dans les quartiers populeux des villes, lorsque ces quartiers sont éloignés d'une rivière, présente à la classe nécessiteuse des ressources extrêmement utiles. Ces ressources sont principalement appréciées lorsque l'on a couvert les bassins, et que l'on y a annexé des séchoirs, si nécessaires dans la saison froide et pluvieuse. Lorsque, surtout, un lavoir reçoit les produits abondants d'un puits artésien, le linge peut être rincé avec beaucoup plus d'exactitude que dans les eaux mal renouvelées de ceux que nous voyons en si grand nombre dans certaines communes des environs de Paris. D'ailleurs, la pureté ordinaire des sources jaillissantes rend facile et parfaite la dissolution du savon, et la douceur de leur température permet d'y laver en toute saison. Cet avantage, que ne possèdent pas la plupart des entreprises semblables, est inappréciable, et fait de l'hiver l'époque la plus productive des lavoirs dont nous parlons, s'ils sont accompagnés de séchoirs bien construits, capables de mettre le linge à l'abri de la gelée et d'en procurer la prompte dessiccation.

126. De quelque utilité que soient ces établissements, l'achalandage s'en fait toujours avec un peu de lenteur, parce que les habitudes du peuple sont difficiles à changer; mais l'expérience prouve que bientôt les blanchisseuses s'accoutument à en prendre le chemin, que leur nombre s'accroît progressivement, et que le lavoir, d'abord presque désert, ne tarde pas à devenir trop petit, s'il est commode, bien situé et pourvu de tous ses accessoires.

On conçoit que je ne puisse donner une idée du tarif des places, ni du produit d'un semblable établissement : les chiffres dépendent entièrement et absolument des circonstances locales. Je me bornerai donc à faire remarquer que l'on peut augmenter notablement la recette, en louant, mais sans en faire une obligation, différents ustensiles aux blanchisseuses qui ne veulent apporter que le linge ; en construisant des cuves banales de lessive; enfin, en mettant à prix les places au séchoir, pour une longueur déterminée de cordes. C'est ce que l'on a fait à Paris, au nouveau lavoir Saint-Laurent, et il en résulte un tarif composé d'un assez grand nombre d'articles, affiché à l'entrée de l'établissement.

127. Il est difficile d'indiquer la quantité d'eau exigée pour le renouvellement. Sans doute les blanchisseuses des environs de Paris, accoutumées à laver le linge dans des bassins presque infects, que renouvellent des sources presque nulles, trouveraient suffisants pour un immense lavoir les

produits d'un puits artésien d'une abondance très-ordinaire, tandis que celles qui fréquentent les bords d'une rivière se montreraient beaucoup moins faciles à satisfaire. Ce sont donc les habitudes locales qu'il faut consulter, et l'on peut arrêter bientôt sa détermination, en inspectant les lavoirs qui environnent la localité où l'on se trouve, en mesurant la quantité d'eau qui s'échappe de leurs fontaines alimentaires ou de leur trop-plein, et en donnant au nouveau lavoir une quantité d'autant plus grande que l'on craindra de plus grandes exigences.

128. On doit remarquer que de tels établissements, ne réclamant aucune force motrice, peuvent être construits, sur le canal de fuite du puits artésien, ou sur le canal par lequel s'écoule le superflu des pièces d'eau ou des réservoirs dans lesquels on reçoit les eaux, en sorte que l'on peut retirer de ces eaux tous les services possibles, et les consacrer ensuite à cet usage, pourvu que l'on n'en ait pas vicié la qualité. C'est ainsi que M. Champoiseau, à Tours, après avoir employé l'eau de son puits à la mise en mouvement de sa filature de soie, et en avoir dérivé une partie pour l'arrosement et l'embellissement d'un magnifique jardin, a consacré le reste à l'alimentation d'un lavoir situé hors de l'enceinte principale de sa propriété, et qu'il a retiré un produit avantageux d'une eau qui se serait écoulée et perdue sans aucun fruit. Nous devons ajouter que ce lavoir est éminemment utile au quartier dans lequel il se trouve situé.

129. Nous allons donner maintenant, pl. VI, fig. 25 et 26, la description et les dessins d'un lavoir de ce genre, en accompagnant chacune des parties de cette description d'observations critiques sur les diverses dispositions que l'on peut adopter.

A est un bassin parfaitement étanche, dont le fond, pavé à bain de mortier hydraulique, repose sur un petit massif de meulière. Nous regardons la maçonnerie bien faite comme supérieure, pour cet emploi, aux réservoirs en bois doublé de plomb, parce que les bois s'altèrent et se pourrissent rapidement au milieu des vapeurs qui s'élèvent, et qui se déposent partout en gouttelettes, principalement pendant l'hiver.

Nous avons donné au bassin la forme circulaire, mais cette forme ne convient que pour les extrémités du lavoir, qui doit réellement recevoir la figure d'un rectangle terminé par deux demi-cercles. La disposition rectangulaire seule exposerait les laveuses, placées près des angles, à s'éclabousser continuellement et désagréablement par l'effet du battoir. On doit, par la même raison, mettre entre les deux bords opposés, une distance suffisante pour éviter cet inconvénient, qui pourrait troubler la paix et même occasionner des rixes.

La détermination du rayon des deux demi-cercles supposés réunis en un cercle donne lieu à une question de minimum intéressante pour l'économie de la construction, et nous nous en occuperons dans la note septième.

Quant à la partie rectangulaire de la surface, elle

ne peut exiger aucune analyse de ce genre; car on voit aisément, sans calcul, que l'espace indispensable pour cette partie sera le moindre possible, si la largeur est réduite à ce qui est nécessaire pour satisfaire aux conditions que nous venons d'énoncer.

Nous ne saurions donner une mesure absolue pour la place qu'il convient de destiner à chacune des blanchisseuses; dans beaucoup d'endroits, ces femmes se placent immédiatement les unes à côté des autres. Alors 0m.65 sont suffisants : mais, si elles doivent tenir leur linge à côté d'elles, et se retourner pour le brosser, sur un tréteau ou sur tout autre appareil analogue, il faudra leur accorder à chacune un espace de 1m.30 environ, comme au lavoir Saint-Laurent, que nous avons déjà cité.

B, B′ sont des gargouilles supportées sur de petits arceaux de meulière. La première, B, de ces gargouilles, alimente le bassin A, en y amenant les eaux du puits artésien; la seconde, B′, conduit au dehors le trop-plein.

C, C est l'enfoncement où se tiennent les laveuses : ces femmes se trouvent ainsi à la portée de leur travail, restent debout, et pourraient même s'asseoir, sans être obligées de s'accroupir, ni de prendre les positions très-incommodes où on les voit si souvent dans les autres lavoirs. Cet enfoncement est pavé et concave, afin que l'eau qui y tombe inévitablement et continuellement puisse se réunir au milieu; une pente générale la ramène d'ailleurs en un seul point H, en la faisant passer sous les

petits arceaux qui soutiennent les gargouilles B, B′ : on peut aussi la recevoir en H, dans une citerne d'absorption dont les parois sont élevées en pierres sèches. Si le terrain environnant est trop compacte pour permettre l'emploi de ce moyen, on recueillera cette eau dans une auge couverte, que l'on videra et que l'on nettoiera aussi souvent qu'il sera nécessaire. On se décidera, selon les circonstances, pour l'un de ces deux systèmes, entre lesquels nous préférons le premier, toutes les fois qu'il est praticable.

D, D sont des escaliers par lesquels les laveuses descendent à leurs places; le mur de revêtement qui soutient les terres est construit en meulière, et couronné de dalles sur lesquelles les blanchisseuses déposent le linge à laver; ce linge se trouve ainsi placé derrière elles.

Le linge lavé se pose provisoirement en masse sur des tréteaux fixes que nous n'avons pas figurés et sur lesquels il s'égoutte. Nous avons représenté seulement, autour du lavoir, un ruisseau circulaire G, G, situé au pied de ces tréteaux, et qui est destiné à recevoir et à transporter au dehors, en I, l'eau qui découle du linge. Il va sans dire que le fond du ruisseau G G et sa pente sont disposés de manière que les eaux qui y tombent soient toutes ramenées vers le point d'écoulement I, et ne puissent se mêler, avec l'eau qui arrive du puits artésien, par le ruisseau K et la rigole B.

Les murs du bassin sont en meulière; le talus en est revêtu de dalles inclinées; ces murs sont

couronnés de pierres dures de 0m.16 d'épaisseur. Le lit supérieur de ces pierres est incliné vers le bassin, et parfaitement uni ; c'est dessus que l'on pose et que l'on bat le linge. Il porte, comme on le voit, un rebord destiné à empêcher l'eau de couler vers les places des laveuses.

Toutes les maçonneries doivent être faites à bain de mortier de chaux hydraulique. Le mortier de chaux grasse n'est pas convenable pour un semblable travail, lors même que l'on voudrait attendre un peu, avant d'introduire l'eau dans le lavoir, parce que ce mortier ne prend toute sa dureté qu'au bout d'un temps beaucoup trop long; parce que, encore, exposé à être continuellement mouillé, il se réduirait en poussière, et se détacherait rapidement, surtout dans les temps de gelée.

Le lavoir doit être couvert et même renfermé, ainsi que les tréteaux sur lesquels on place le linge. Il en est de même du séchoir d'été, auquel il est presque indispensable de joindre un séchoir d'hiver, dans lequel, pour la dessiccation du linge, on ne compte pas seulement sur une haute élévation de température, mais encore sur une ventilation bien raisonnée et variable, à volonté, suivant l'état de l'atmosphère.

L'eau se renouvelle si constamment dans le bassin, lorsque le lavoir est alimenté par un puits artésien, qu'il est absolument inutile de se réserver les moyens de le vider. Si, cependant, cette mesure était nécessaire pour des réparations, on détournerait l'eau du puits, ce dont il faut toujours se réserver la pos-

sibilité, et l'on épuiserait le bassin avec des écopes.

130. Nous ne regardons pas la description que nous venons de donner comme un type dont il ne soit pas utile de s'écarter dans beaucoup de circonstances. Ainsi nous avons représenté les places des blanchisseuses comme situées en contre-bas du sol, parce que nous avons supposé que le lavoir ne recevait les eaux qu'après que ces eaux avaient transmis toute leur puissance dynamique à une roue d'usine. S'il n'existait pas de moteur hydraulique, ou que l'on se décidât à sacrifier un peu de chute pour simplifier la construction du lavoir, on n'aurait plus à placer les laveuses au-dessous du niveau du terrain environnant, et l'on supprimerait le mur de revêtement, les escaliers et la citerne d'absorption. La mise à sec du bassin deviendrait aussi beaucoup plus facile.

Au lavoir St-Laurent, chaque place est garnie d'une case en bois, représentée par la figure 27; cette case est mobile, s'élève au-dessus du bord du lavoir, et met à l'abri des éclaboussures du battoir la blanchisseuse, qui s'y place debout pendant son travail.

Les habitudes locales exigent encore quelques modifications : ainsi, dans les villes où l'on ne pourra décider les blanchisseuses à abandonner l'usage nuisible de la brosse, on devra leur procurer l'espace nécessaire pour placer à côté d'elles le linge à laver et un peu de linge lavé, en attendant qu'elles aillent l'étendre. Derrière elles, au lieu des tréteaux dont nous avons parlé, on établira,

à la hauteur convenable (0m.83 environ), des longuerines bien dressées, de 0m.32 de largeur au moins, sur lesquelles elles brosseront le linge. Sous ces longuerines, dont la surface supérieure sera légèrement inclinée en avant, on placera un baquet et quelques ustensiles. On devra, d'ailleurs, pourvoir à l'écoulement facile de l'eau qui dégouttera du linge, et, si les places des laveuses étaient en contre-bas du sol, les longuerines devraient être établies en arrière, de manière à ne laisser tomber l'eau qu'en dehors de l'enfoncement; autrement, il serait difficile qu'une citerne suffit pour absorber toute celle qui pourrait y affluer.

CHAPITRE VII.

De l'usage des puits artésiens comme moteurs.

131. Dans l'état actuel de l'art du fontainier-sondeur, on ne peut encore considérer les puits artésiens que comme des moteurs faibles et dont l'emploi doit, par conséquent, être fait avec discernement. Les destiner, comme on l'a fait dernièrement, à augmenter la force d'un moulin de campagne, dans une localité où le puits artésien ne donnait que quelques centaines de kilogrammètres par minute, c'est ajouter à peine, au travail d'une roue mue par une rivière, celui de deux hommes agissant sur une manivelle; c'est donc un non-sens en mécanique.

Je dois citer cette faute pour signaler le péril, et prévenir les tentatives déraisonnables que l on voit faire trop souvent, par une imitation intempestive des meilleurs procédés.

Lorsqu'au contraire un travail d'un prix élevé devra nécessairement être exécuté dans une ville, et n'exigera pas une grande puissance dynamique, les puits artésiens pourront donner un secours d'une utilité inappréciable. Beaucoup d'opérations sont dans ce cas, et pour en présenter quelques exemples, nous citerons la filature de la soie; la fabrication des ganses, des tresses, de la passementerie; la mise en mouvement des tours destinés à la confection de la grosse horlogerie, de la petite mécanique, des mouvements de lampes et une infinité d'autres.

Toutes ces industries, qui réclament le concours d'hommes habiles, tout à fait au-dessus de la classe des manœuvres, ne prospéreraient pas dans les campagnes, et, si l'on parvenait à décider quelques bons ouvriers à s'éloigner des villes, on ne le ferait qu'en les logeant, en acceptant d'eux des conditions dures, et en se mettant, à bien des égards, sous leur dépendance. Ces industries sont donc essetiellement urbaines, et l'on ne doit pas compter pour elles, sur les chutes d'eau ordinaires qui ne se trouvent que fort rarement dans les villes.

Comme, d'ailleurs, ces industries consomment peu de force, l'emploi de la vapeur n'est pas d'une grande ressource; car on sait que les très-petites machines à feu ne fournissent pas une économie bien considérable.

Restent les manéges et leurs désagréments de toute espèce, tels que les maladies, les pertes, la nourriture et le grand nombre des chevaux à cause des relais indispensables; l'emploi d'hommes de service; l'entretien des harnais, de la ferrure; et par-dessus tout, peut-être, le mouvement inégal et saccadé.

Tous ces inconvénients ne sont que trop réels et rendent le choix d'un moteur, beaucoup plus difficile pour une petite fabrique que pour une grande usine.

Or les puits artésiens semblent destinés à remplir cette lacune dans toutes les contrées abondamment pourvues d'eau jaillisantes; ils y fourniront des moteurs dont la puissance très-régulière, me-

surée sur l'arbre de la roue hydraulique, représentera le travail d'un ou même de deux chevaux-vapeur.

132. En indiquant deux chevaux-vapeur effectifs, comme limite de la force des puits artésiens, je ne parle, au reste, que pour le présent, et je ne donne pas ce nombre comme un terme qui ne puisse être dépassé. Les progrès rapides, faits depuis quelques années et rendus sensibles par les tableaux des pages 9 et 10, peuvent, au contraire, faire attendre des succès plus importants; mais je dois parler de l'état actuel de l'art, sans donner, comme des prévisions, des espérances encore incertaines.

133. Nous ne reviendrons pas sur les méthodes que nous avons exposées pour la mesure de la puissance dynamique d'un puits artésien, et pour la détermination du point auquel correspond le maximum de cette puissance. Nous insisterons seulement sur la nécessité de faire, avec beaucoup de précision, ces calculs et les expériences sur lesquelles ils reposent, car la force d'un puits semblable est une puissance chère, appliquée, comme nous le supposons, à un travail d'une valeur notable; et, par conséquent, l'économie en est impérieusement réclamée par la raison et par toutes les conditions d'une bonne administration.

La détermination exacte du point auquel correspond le maximum de travail dynamique sera d'autant plus importante que ce travail décroît très-rapidement, pour peu que l'on s'éloigne du point le plus avantageux.

134. Je dois dire qu'il n'est pas un seul usage des sources artésiennes qui, plus que la mise en mouvement des usines, exige des précautions dans la construction des puits, et un examen rigoureux des moyens propres à assurer la conservation du volume des eaux dans toute son intégralité. J'ajouterai même que, pour agir avec toute la prudence possible, il conviendrait de ne monter la roue et les machines qu'après s'être assuré, au moyen de jaugeages fréquents, répétés après d'assez longs intervalles, que le puits ne subit pas de diminution.

S'il est pénible, en effet, de voir disparaître une source obtenue à grands frais, et destinée à subvenir à l'alimentation d'une habitation ou d'un jardin, on doit encore la regretter bien davantage lorsque le produit en est affecté à la mise en mouvement d'une usine hydraulique dont la construction a coûté des sommes considérables. On perd alors non-seulement les dépenses de la construction du puits, mais encore les déboursés de l'établissement des appareils, les frais du chômage, ou plutôt on perd son industrie tout entière. Si le puits ne subissait qu'une réduction, ce malheur serait encore extrêmement fâcheux, parce qu'il ferait craindre, avec une presque certitude, l'anéantissement total, ainsi que nous l'avons dit (32); parce que, supposé même que le décroissement demeurât stationnaire, il diminuerait la puissance, non d'une quantité proportionnelle à l'affaiblissement du produit, mais d'une quantité plus grande,

à cause de l'inobservation des conditions du maximum qui se trouveraient changées; parce que, enfin, dans une usine montée sur un pied déterminé, les frais généraux sont à peu près les mêmes, quelle que soit la masse des produits fabriqués, en sorte que les ralentissements portent presque entièrement sur les bénéfices nets.

135. Tels sont les inconvénients que présentent les puits forés employés légèrement comme moteurs : aussi, quelque désir que j'aie de voir multiplier les applications des eaux artésiennes dans les manufactures, j'ai dû tout dire, et j'espère que la vérité préviendra des mécomptes très-fâcheux, en portant les fondateurs des entreprises à prendre toutes les précautions convenables.

On évitera, d'ailleurs, de consacrer un puits artésien à la mise en mouvement d'une industrie pour laquelle il serait insuffisant, si l'on a soin de calculer par les moyens que nous avons indiqués dans le chapitre troisième, la puissance dynamique disponible sur l'arbre de la roue hydraulique. On consultera ensuite les expériences connues sur la puissance réclamée pour différents emplois. Les tableaux que l'on possède maintenant renferment des données satisfaisantes sur la plupart des opérations des arts; s'il s'agit de travaux qui n'y soient pas compris, on fera des recherches spéciales, ou plutôt on demandera aux mécaniciens qui fourniront les machines exécutantes, la quantité de kilogrammètres qu'il faudra tenir par seconde à leur disposition. En rédigeant le marché sur ces bases,

et en exprimant que les kilogrammètres réclamés seront mesurés sur l'arbre de la roue hydraulique, on n'aura à craindre aucune autre erreur que celle qui proviendrait de l'inexactitude de la demande du mécanicien, inexactitude contre laquelle on peut se prémunir par les conditions du traité. Nous ne rapporterons pas ici les tableaux que nous venons d'indiquer, parce qu'ils sont très-longs et qu'ils grossiraient inutilement ce volume. Nous nous bornerons donc à citer les ouvrages où l'on pourra trouver ceux qui méritent le plus de confiance (*).

136. Le choix de la forme du récepteur hydraulique ne nous semble pas douteux, et nous pensons que, dans toutes les circonstances ordinaires, on aura recours à l'emploi de la roue à augets, que l'on peut faire construire partout avec facilité.

L'établissement de cette roue et des organes de transmission de mouvement devra se faire avec beaucoup de soin, et avec le plus possible de légèreté, afin d'économiser la force et la dépense. Nous espérons rendre service à nos lecteurs et

(*) *Coriolis*. Du calcul de l'effet des machines; Paris, 1829, page 244 et suivantes.

Taffe. Application des principes de la mécanique, 2e édition, 1839, *passim*.

Morin. Aide-mémoire de mécanique, 2e édition, 1838, page 343 et suivantes.

Beaucoup d'auteurs qui ont traité spécialement de différentes fabrications ont aussi donné des indications utiles.

leur épargner des recherches en leur donnant la description d'un moteur de ce genre et de ses pièces accessoires dont nous avons dirigé la construction dans l'usine de M. Champoiseau, à Tours; non certes que nous ayons l'intention de présenter un modèle, mais seulement celle de fournir des idées générales que chacun pourra modifier, étendre et améliorer.

La roue C, C, C est comprise dans un beffroi A, A, A, A, en charpente, dont les figures 28 et 29 représentent le profil et la face. Ce système étant établi sur un ancien fossé comblé de la ville, nous avons trouvé le terrain de remblai si profond que nous avons dû renoncer à atteindre le bon sol, et nous avons soutenu le beffroi et la pile de maçonnerie qui supporte l'un des tourillons, sur des pilotis enfoncés au refus d'un mouton de moyenne force; l'autre tourillon est posé dans un mur anciennement construit et solide. Aucun tassement ne s'est manifesté depuis l'époque de la construction (1834).

Le sol ayant une pente assez rapide jusqu'à la rue, nous avons pu placer l'extrémité inférieure de la roue à une profondeur notable en contre-bas, et la stabilité du beffroi, enfoncé en terre, jusqu'en B, B, s'est trouvée suffisamment assurée par cette disposition, et par la liaison des pièces supérieures avec le reste de la construction, sans qu'il ait été besoin de prolonger les semelles, et de les lier avec les montants, par des aisseliers. Toutes les précautions ont été prises pour la con-

servation de la partie du bois qui se trouve enfouie; la surface en a été goudronnée, et isolée du mortier des maçonneries contiguës.

La roue est composée d'une couronne en bois, construite avec beaucoup de précision et de soin, selon le mode usité pour les bonnes roues à augets; on voit, en D, une portion de ses augets supposés découverts : le fond en est assemblé à rainures et à languettes; il est cloué sur les cintres, et sa réunion avec ces cintres est cachée par une petite tringle ornée de moulures et servant de couvre-joint. Nous n'insistons pas sur les assemblages de cette couronne, parce que ces détails sont connus, même dans les campagnes, de tous les charpentiers en moulins.

Les bras de la roue sont en fer forgé, et viennent s'assembler dans deux manchons E, E, sur lesquels ils sont maintenus par des écrous. Ces manchons sont fixés, comme à l'ordinaire, par des coins doubles en bois, sur l'arbre de forme hexagonale, et ces coins, après avoir été chassés au refus, ont été arasés avec la scie à main, puis recouverts d'un tasseau orné de moulures et fixé par de longues pointes.

L'arbre est en bois, et ses tourillons, en fonte, sont posés et assujettis comme à l'ordinaire.

La nécessité de satisfaire aux conditions du maximum d'effet m'a contraint de donner à la roue la grande dimension de six mètres. Je l'ai fait avec regret, parce qu'il en est résulté plus de dépense, un poids plus considérable, et par con-

séquent une augmentation du diamètre des tourillons et des pertes de travail causées par le frottement; néanmoins, comme le calcul de la résistance de toutes ses parties a permis de donner à la roue beaucoup de légèreté, et que son mouvement n'est pas rapide, cette perte de travail se trouve, en définitive, très-peu considérable.

Le diamètre ainsi fixé déterminait aussitôt la position du centre; et, comme la fabrique à laquelle nous devions appliquer le moteur hydraulique était antérieurement établie, l'axe de l'arbre de couche avait également une position qu'il ne nous était pas permis de changer. Il en est résulté que nous n'avons pu donner au hérisson F et au pignon G un diamètre aussi grand que nous l'aurions désiré, pour augmenter le nombre des dents et diminuer le sacrifice du travail sur ce point. Quoique les dimensions n'en soient pas précisément petites, nous engageons le lecteur, toutes les fois que les circonstances le lui permettront, à faire ces dimensions proportionnellement plus grandes.

H et I représentent les cercles et les cônes primitifs des engrenages coniques destinés à transmettre le mouvement à l'arbre de couche du second étage : nous n'insisterons pas sur cette disposition qui n'a rien de particulier.

L'eau du puits artésien est amenée, par la colonne d'ascension K, dans le réservoir L; lorsqu'elle y est parvenue, elle s'y élève jusqu'à ce qu'elle se déverse sur la roue par l'orifice M.

Le réservoir est construit en madriers de chêne de 0m.055 d'épaisseur, dont les joints sont assemblés à rainures et à languettes doubles, et dont les extrémités le sont à queue d'aronde. On a d'ailleurs empêché la disjonction et le travail des bois, en ferrant les encoignures et les joints. L'intérieur est doublé d'une feuille de plomb mince, destinée à prévenir toutes les fuites. Cette feuille est recourbée dans l'orifice d'écoulement, de manière à en recouvrir toutes les parois intérieures. Le fond du réservoir forme d'ailleurs, au-dessus de la roue, un tablier concentrique avec elle, séparé de la périphérie par un jeu de 0m.020. Le réservoir est soutenu par deux pièces de bois Q, fig. 28 et 30, solidement fixées sur les côtés et posées sur l'entretoise N O du beffroi, ainsi que sur l'entretoise homologue.

Pour arrêter la roue, ou la mettre en marche à volonté, il se présentait plusieurs systèmes fondés sur la fermeture absolue d'une vanne qui ne devait, dans cette hypothèse, laisser échapper aucune goutte d'eau. Comme il était difficile et coûteux d'atteindre ou plutôt de conserver cette fermeture exacte, je me suis décidé à chercher un autre moyen de parvenir à mon but. A la vérité, dans les moulins ordinaires, on ne se sert que de vannes sujettes à cet inconvénient, mais alors la roue est ordinairement précédée d'un assez long chenal qui s'élève légèrement en approchant de la circonférence ; le peu d'eau que laisse échapper la vanne quand elle est fermée tombe, avant d'ar-

river à la roue, dans le coursier, par une ouverture circulaire que l'on ferme d'un tampon quand on veut faire marcher l'usine. Si cette disposition n'est pas observée ou n'est pas remplacée par une autre équivalente, en un mot si l'eau que fournissent les fuites de la vanne peut parvenir dans les augets, la roue est très-sujette à partir au repos, à moins qu'on ne la retienne par une barre passée dans ses bras, ce qui présente encore bien des inconvénients.

Toutes ces considérations m'ont porté à employer le moyen que je vais décrire.

L'eau ne parvenant à l'orifice M qu'après s'être élevée à une certaine hauteur dans le réservoir, j'ai pensé qu'en établissant au fond de ce réservoir une colonne de fuite P, fermée à volonté par un tampon, et en donnant à cette colonne un diamètre tel que, pendant la levée du tampon, elle dépensât largement tout le volume fourni par le puits artésien, sous une charge moindre que celle qui correspond au niveau de l'orifice M, on pourrait arrêter l'usine par le simple déplacement du tampon. C'est effectivement ce qui arrive, et la manœuvre s'exécute avec la plus grande facilité, au moyen d'une corde qui passe sur des poulies de renvoi et vient se rendre dans l'atelier.

La figure 30 donne les détails du réservoir, et les mêmes lettres y désignent les mêmes objets que dans les figures 28 et 29.

Quant aux figures 31 et 32, elles font connaître les détails de la construction du tampon. Comme

on le voit, la queue de ce tampon traverse une rondelle soutenue sur trois pieds et destinée à l'empêcher de s'écarter de la verticale, lorsqu'on le redescend (la figure 31 ne représente qu'une partie de la rondelle et deux de ses pieds, parce que le troisième eût masqué les détails du tampon). La colonne P est en zinc, et se termine par une portion conique creuse en laiton, qui reçoit le tampon aussi en laiton, et les deux surfaces de jonction sont soigneusement tournées et rodées, pour empêcher toute déperdition, lorsque l'usine est en marche. L'eau qui s'écoule pendant les interruptions du travail descend donc par la colonne de fuite, et se jette dans le coursier, un peu à l'aval de la roue, par un caniveau R, pratiqué dans l'épaisseur du bajoyer, sous la pierre en bahut qui le couronne.

137. Pour qu'un puits artésien puisse être employé comme moteur, il faut évidemment qu'il fournisse, à une certaine hauteur au-dessus du sol, une assez grande quantité d'eau. Toutefois M. le vicomte Héricart de Thury m'a signalé un cas où l'on peut profiter d'une disposition favorable du terrain, pour réaliser une chute qu'il semblait d'abord impossible de trouver. Ce cas s'est présenté, et le moyen que nous allons exposer a reçu une heureuse application. Dans la circonstance dont il s'agit, un propriétaire, après avoir creusé un puits artésien, sur un point de son domaine, avec l'espoir d'obtenir un moteur qui lui permît d'élever plus haut une partie des eaux, se

vit trompé dans son attente, et n'obtint qu'une source assez abondante, mais privée d'ascension notable. Après un mûr examen, il reconnut que le puits n'était pas situé, à beaucoup près, dans la partie la plus basse de sa propriété, et qu'entre cette partie la plus basse et le sondage il existait une assez grande différence de niveau. Il se décida aussitôt à creuser une tranchée, à établir un aqueduc souterrain, et réalisa une chute suffisante pour l'accomplissement de son dessein. Dans une occurrence semblable, lorsque l'on se contente de n'élever qu'une petite quantité d'eau, il suffit d'une chute peu considérable pour parvenir au but. On ne peut, à la vérité, employer alors une pompe mise en mouvement par une roue, mais on peut recourir à un bélier hydraulique, machine que la plus petite chute et la plus petite source suffisent pour faire fonctionner.

138. En recommandant cette machine, nous devons néanmoins en rappeler les principaux inconvénients. La moindre ordure s'interposant entre les soupapes en diminue l'effet utile, et même en dérange le jeu. Cet accident serait continuel, si l'on construisait le bélier auprès du puits artésien, à cause du sable que les eaux rejettent presque toujours; on le préviendra en mettant entre les deux appareils une certaine distance, et surtout en donnant à l'aqueduc qui les joindra une section assez grande pour que le mouvement de l'eau y soit très-lent, et que le sable puisse se déposer complétement avant de parvenir au bélier.

Lorsque le volume de l'eau est grand, ou que la colonne d'ascension du bélier est élevée, les ébranlements qui résultent du jeu de l'appareil et des oscillations incessantes du fluide disloquent promptement les constructions, si l'on néglige de s'assurer d'une solidité à toute épreuve. Ce défaut, malheureusement trop réel, du bélier hydraulique en a beaucoup restreint l'usage. D'ailleurs cette machine présente un autre inconvénient, c'est que le rapport de l'effet utile au travail dépensé diminue rapidement à mesure que la différence augmente, entre la chute du cours d'eau et la hauteur de la colonne d'ascension, si cette colonne est très-élevée; il faut donc que la chute soit considérable, pour que la machine rende un rapport avantageux; et, dans ce cas, on emploie plus utilement une roue et un autre système.

Ainsi, par exemple, en considérant, pour rendre la différence plus sensible, les deux expériences extrêmes relatées dans le traité d'hydraulique de M. d'Aubuisson de Voisins, on trouve que, pour une chute de $3^{m}.06$ et une élévation de $8^{m}.01$, le rapport de l'effet utile au travail dépensé a été égal à 0.90 ; ce qui surpasse les résultats obtenus de toutes les autres machines destinées au même usage; mais que, pour une chute de $0^{m}.60$ et une élévation de $11^{m}.78$, le rapport n'a plus été que $0^{m}.18$.

Au reste, nous donnons ces observations comme avertissement, et nous reconnaissons qu'il est beaucoup de cas où l'on devra s'estimer très-heu-

reux d'obtenir encore les 0.18 du travail d'un cours d'eau, en élevant le fluide à une hauteur égale à plus de dix-neuf fois la chute disponible, lorsque cette chute ne serait utilisable par aucun autre moyen. Pour les chiffres que nous venons de citer, un bélier hydraulique, annexé à un puits capable de fournir 600 litres par minute, donnerait encore, à 11m.78 de hauteur, 7921 litres en vingt-quatre heures, ou la quantité suffisante pour 412 individus dans une ville sans industrie (à raison de 19 lit. 195 par tête). Dans ce cas, la source, trop faible pour la mise en mouvement d'un établissement industriel, pourrait donc, du moins, être consacrée à l'usage d'une petite commune, ou bien à l'embellissement de l'habitation la plus vaste; et un tel emploi serait inestimable dans une infinité de circonstances.

CHAPITRE VIII.

Conclusion.

139. Parvenu au terme de notre travail, nous allons jeter un coup d'œil rétrospectif sur la carrière que nous avons parcourue, avec le désir constant de nous rendre utile.

L'exposé que nous avons fait des principes de la théorie, et la description que nous avons donnée des usages les plus ordinaires des puits artésiens, peuvent faire pressentir les bienfaits que l'industrie des sondages promet de répandre sur le sol de la patrie, lorsque des perfectionnements nouveaux que nous pouvons, comme ainsi dire, regarder comme atteints auront assuré la perpétuité de ces produits et en auront encore augmenté l'importance.

140. Malgré l'étendue de nos espérances, nous avons dû néanmoins ne rien dissimuler, et, dans la crainte que l'influence de nos désirs ne prévalût sur l'appréciation exacte des réalités, nous nous sommes constamment tenu en garde contre nous-même. Nous espérons donc que les lecteurs qui consulteront notre ouvrage auront été assez avertis, et qu'ils ne perdront jamais de vue les conseils que nous avons donnés et les dangers que nous avons fait connaître. Nous espérons cependant aussi que la vérité sincèrement exposée ne sera point pour eux un motif de découragement, mais qu'elle les portera seulement à prendre les

précautions qui assurent le succès, et rendent une entreprise bien faite, mille fois plus profitable pour le bien-être général, qu'une foule d'autres restées infructueuses parce qu'elles ont été formées légèrement.

Il était d'ailleurs indispensable de dissuader les propriétaires d'une économie trop exigeante qui compromet, avec la réussite de leurs propres entreprises, l'existence même d'un art digne du plus vif intérêt. Ce ne sera, en effet, que par des constructions conduites avec toutes les précautions nécessaires, et par des jaugeages publics, incontestables et fréquemment répétés, que les sondeurs démontreront la constance des produits des puits artésiens, et raffermiront les convictions ébranlées dans quelques lieux par des diminutions notoires. Nous avons indiqué les causes de ces diminutions, mais nos avertissements auront été vains, ou plutôt ils n'auront eu pour effet que d'augmenter les appréhensions, aussi longtemps que des faits concluants n'auront pas démontré, d'une manière irréfragable, que l'art a enfin acquis la perfection qui peut seule garantir la durée des résultats. Cette perfection, il peut et il doit l'atteindre, non-seulement prochainement, mais dès à présent, et il doit la prouver, afin de triompher des inquiétudes et de répandre partout ses inappréciables bienfaits. Déjà la réparation du puits de M. Champoiseau, la conservation, même l'augmentation, pendant plus de quatre mois, des produits recouvrés, les jaugeages nombreux et fréquents que cet honorable indus-

triel se propose de répéter, fourniront, nous en sommes convaincu, une première preuve qu'il suffira de répéter sur quelques autres exemples pour la rendre tout à fait incontestable.

141. Il serait d'ailleurs bien injuste d'accuser de quelques erreurs où l'a jetée, à son début, le désir de l'économie, une industrie brillante à laquelle peu d'années ont suffi pour prendre un immense développement. La machine à vapeur, cet énergique moteur de nos manufactures, et toutes les inventions utiles n'ont-elles pas eu aussi, elles, leurs commencements et leurs vicissitudes ? ne cherche-t-on pas encore les moyens de remédier aux défauts des chaudières et aux explosions, bien autrement funestes que l'affaiblissement d'un puits artésien, affaiblissement que l'on commence même à pouvoir réparer? la réussite récente de l'opération que nous avons citée, beaucoup plus difficile qu'une bonne construction, ne nous donne-t-elle pas même un motif bien suffisant de penser que l'art du fontainier-sondeur, affranchi des entraves et des tâtonnements, peut enfin prendre son essor, et qu'il a plutôt à rechercher maintenant des perfectionnements pour l'accroissement que pour la conservation du volume des eaux?

142. S'il nous est permis, en effet, de faire pénétrer nos regards au travers du voile qui couvre encore son avenir, nous croyons pouvoir prédire sans illusion des succès aussi prochains que brillants. Nous ne doutons pas surtout que les sondages, exécutés aujourd'hui par la main de l'homme, ne

reçoivent bientôt l'application de la machine puissante qui renouvellera la face du globe, et que, pratiqués dans des proportions beaucoup plus vastes, ils ne fassent naître les sources, la fertilité et l'industrie dans beaucoup de parties de notre France, encore arides, mais assez heureuses pour posséder ces richesses précieuses, presque les seules, parmi toutes celles que renferme le sein de la terre, qui ne puissent devenir ni meurtrières ni corruptrices.

Alors les travaux et les efforts qui auront rendu générale la pratique d'un art si précieux sembleront perdre de leurs proportions, et les résultats que nous énonçons aujourd'hui comme importants n'offriront plus que des chiffres bien faibles; alors encore les usages des sources artésiennes ne seront plus circonscrits dans leurs limites actuelles; alors, enfin, beaucoup d'emplois imprévus ou impossibles en apparence seront universellement répandus; mais il en est ainsi de tout ce qui existe, et l'immortel auteur de l'application des effets de la vapeur ne prévoyait assurément pas lui-même, lorsqu'il imaginait les moyens de consacrer ces effets au service des arts, toutes les modifications que ses premières idées ont reçues de ses successeurs.

143. Entre l'invention de Papin et les applications qui en ont été faites, il existe une distance assurément plus grande que celle qui sépare l'état actuel des sondages artésiens de leur état futur, et qui sera bien promptement franchie. Puissent les sociétés et les hommes qui, tout récemment,

ont tiré des ténèbres un art enfoui pendant des siècles dans la routine d'une petite contrée, être plus heureux que lui, rester investis de la reconnaissance nationale, et n'en être pas dépouillés par les prétentions injustes de l'étranger!

144. En publiant cet ouvrage, je n'ai certes pas eu la présomption de joindre mes efforts à ceux des sociétés et des hommes que je viens de citer; si j'ai eu le bonheur de recueillir des observations qui ont obtenu leur approbation, j'ai trouvé l'art adolescent, et sorti déjà, par leurs soins, des entraves de l'enfance. Trop récompensé par des suffrages si honorables, je n'aspire plus à d'autre prix de mon travail que celui de voir mon ouvrage rendre quelques services à la belle industrie qui l'a fait naître; et de trouver bientôt les résultats que j'ai cités dépassés par d'autres résultats mille fois plus nombreux, plus importants et plus utiles au pays.

FIN.

NOTE PREMIÈRE.

Épaisseur, profondeur et nature des différents terrains trouvés lors de la réparation par M. Mulot, du puits de M. Champoiseau, place d'Aumont, à Tours. Cette réparation a été terminée en 1839.

NATURE DES TERRAINS.	ÉPAISSEUR de la couche (en mètres).	PROFONDEUR du sondage (en mètres).	OBSERVATIONS.
	m. c.	m. c.	
Terrain de transport ..	2 16	2 16	
Terre végétale........	3 34	5 50	
Sable..	3 »	8 50	
Roche calcaire........	1 66	10 16	
Craie jaune..........	1 34	11 50	
Craie jaune et rognons de silex.............	2 33	13 83	
Craie	5 67	19 50	
Craie bleue avec calcaire siliceux...........	5 66	25 16	
Craie bleue..	47 67	72 83	
Craie dure...........	0 17	73 »	
Marne blanchâtre......	13 33	86 33	
Marne brune très-compacte.............	5 33	91 66	
Marne verte avec des coquilles............	2 »	93 66	
Craie dure...........	0 50	94 16	
Argile noire..........	1 17	95 33	
Sable très-micacé.....	3 50	98 83	
Grès vert............	1 »	99 83	A. Sous ce grès, selon toute apparence, est la première nappe d'eau non ascendante.
Sable vert...........	0 67	100 50	
Grès vert............	0 50	101 »	
A reporter.....	101 00		

Suite du tableau.

NATURE DES PRODUITS	ÉPAISSEUR de la couche (en mètres).		PROFONDEUR du sondage (en mètres).		OBSERVATIONS.
	m.	c.	m.	c.	
Report.......	101	00			
Argile verte..........	1	»	102	»	
Grès vert et argile.....	1	83	103	83	
Plaquettes de grès et sable..............	1	83	105	66	
Argile verte très-sableuse	5	66	111	32	
Plaquettes de grès et sable.	16	»	127	32	B. Ici l'on avait, dans le premier sondage, d'abord 10, puis 88, et enfin 188 lit. par minute au sol.........
Grès................	0	34	127	66	
Sable coulant.........	1	66	129	32	C. Ici l'on avait, dans le premier sondage, 1000 lit. au sol.
Grès................	0	34	129	66	D. Ici l'on avait, dans le premier sondage, 1100 lit. au sol.
Plaquettes de grès et sable.............	4	84	134	50	
Grès dur.......	0	50	135	»	E. Ici l'on avait, dans le premier sondage, 1400 lit. au sol.
Sable et plaquettes.....	4	14	139	14	
Grès................	0	61	139	75	
Sable	0	52	140	27	
Roche dure..........	2	39	142	66	
Sable	3	»	145	66	
Roche...............	0	41	146	07	
Sable mêlé d'argile....	2	93	149	»	
Roche très-dure.......	0	16	149	16	
Sable et plaquettes....	4	34	153	50	
A reporter......	153	50			

Suite du tableau.

NATURE DES PRODUITS.	ÉPAISSEUR de la couche (en mètres).		PROFONDEUR du sondage (en mètres).		OBSERVATIONS.
	m.	c.	m.	c.	
Report........	153	50			
Argile brune.........	4	66	158	16	
Sable..............	3	84	162	»	
Roche.........	0	33	162	33	
Argile.....	1	»	163	33	
Roche..............	0	22	163	55	
Sable jaune et gros galets...............	3	78	167	33	
Sable..............	6	67	174	»	
Argile brune.........	2	»	176	»	
Sable gris-blanc.......	1	33	177	33	
Argile brune.........	0	67	178	»	
Sable..	11	83	189	83	
Argile brune.........	3	67	193	50	
Argile jaune et sable vert..............	3	»	196	50	
Sable gris-blanc.......	0	22	196	72	
Argile verte..........	0	44	197	16	
Roche dure..........	0	25	197	41	
Sable vert très-chlorité.	0	25	197	66	
Marne dure blanche et grise, qui probablement recouvre le calcaire jurassique.....	15	»	212	66	F. Ici le produit total s'est élevé, dans le second sondage, à 3480 lit. au sol.
Total........	212	66			

Nota. Ce tableau m'a été communiqué par M. Mulot, qui en a fait faire une lithographie. Je dois aussi à l'obligeance de M. Champoiseau les annotations sur les produits obtenus à différentes profondeurs.

Épaisseur, profondeur, et nature des différents terrains trouvés lors de la construction du premier puits de Cangé, à une lieue et demie, au sud-est de Tours. Ce puits a été foré en 1836, *par M. Mulot.*

NATURE DES TERRAINS.	Épaisseur de la couche.	Profondeur du sondage.	*Observations.*
Terre naturelle végétale et sable-gravier............ C	4 22	4 22	Ter. d'atterrissement
Craie sableuse avec nodules calcaires, et grès siliceux...	4 88	9 10	
Craie blanche avec fragment de coquilles et grès calcaires.	3 90	13 »	
Craie grise avec fragments de grès siliceux, renfermant des pyrites de fer............	14 60	27 60	Craie blanche et grise, avec silex et fragments de grès.
Craie blanche avec silex pyromaques en rognons, renfermant des coquilles et des nodules calcaires..........	26 01	53 61	
Craie grise avec traces de lignites, renfermant des pyrites de fer................	7 80	61 41	Craie-tufeau.
Craie verte alternant avec des grès verts................	3 19	64 60	Craie chloritée.
Argile micacée verte et bleue alternant avec des grès verts.	0 92	65 52	
Sable vert alternant avec des grès verts......... ..... D	6 90	72 42	
Argile sableuse..............	3 90	76 32	
Grès verts et sables verts alternant ensemble.............	22 44	98 76	Argiles, sables et grès inférieurs à la craie dite glauconie sableuse.
Argile brune micacée.........	14 30	113 06	
Calcaires siliceux alternant avec des sables verts, des grès et des argiles..........	8 77	121 83	
Sables verts et plaquettes de grès verts................	6 17	128 00	
Grès calcaires.............. E	1 30	129 30	

OBSERVATIONS.

C Nappe d'eau d'infiltration.
D Première nappe d'eau jaillissante.
E Seconde nappe d'eau jaillissante très-abondante.

Nota. Ce tableau est emprunté à une lithographie dans laquelle M. Mulot a représenté la coupe géologique du premier puits de Cangé.

NOTE DEUXIÈME.

Sur l'impossibilité d'attribuer aux déperditions des puits artésiens l'affaissement de la neuvième et de la dixième pile du pont de Tours, en 1835. [Voy. le n° (49).]

C'est au commencement de 1835 que l'administration s'est occupée, du moins ostensiblement, des tassements du pont de Tours; et je dois dire qu'en passant sur ce pont, en août 1834, je remarquai dans le pavage une légère ondulation qui me parut alors être l'effet d'un défaut de construction.

L'auteur de la note que je combats dit, au reste, page 107 (*), que c'est le 22 janvier 1835 qu'il reconnut, dans les différentes parties de ce beau monument, des indices de mouvement assez remarquables pour lui donner des inquiétudes.

Il faut assurément que le mal ait fait des progrès très-sensibles, pour qu'une masse considérable, fortement et anciennement liée comme le pont de Tours, commence à s'ébranler, et l'on ne me taxera pas, je pense, d'antidater l'origine des affaissements, en disant qu'elle est, au moins, antérieure à l'année 1834.

Or le premier puits foré, à Tours, a été terminé en 1830: c'est celui de la place Saint-Gatien; il donnait, à la hauteur du sol, 30 lit. par minute ou 1/2 lit. par seconde (6).

Le second, celui de la tour Charlemagne, donnait, à la hauteur du sol, 72 lit. par minute ou 1^{lit}.20 par seconde.

Le troisième, celui de la place de la Riche, donnait, à la hauteur du sol, 173 lit. par minute ou 2^{lit}.88 par seconde.

(*) Annales des ponts et chaussées (juillet et août 1839).

Ces deux derniers puits ont été terminés entre 1830 et 1834, à des époques dont je n'ai pas la note.

Enfin le puits de la caserne de cavalerie, achevé en octobre 1833, donnait, à 1m.80 au dessus du sol, 18lit.51 par seconde, ainsi que le constate le journal d'Indre-et-Loire du 18 octobre 1833.

Tous les autres puits artésiens de Tours, ayant été construits dans les années 1834 et suivantes (*), c'est seulement sur les quatre que je viens de citer et non sur sept que doit porter l'examen.

Nous ne pouvons, d'abord, admettre avec l'auteur de la note, que tous les puits qui ont été forés à Tours dussent donner des produits égaux à celui du dernier qu'il cite, et que la différence représente une déperdition. Nous avons, en effet, prouvé, dans notre théorie, que le diamètre des puits, le niveau des orifices, la liberté des canaux souterrains, la disposition de la couche géologique, au point où vient aboutir le coup de sonde, influent considérablement sur les produits; et nous ne pouvons mieux appuyer nos raisonnements et nos conclusions qu'en rappelant à nos lecteurs que notre théorie, à cet égard, est parfaitement conforme aux principes émis par M. Arago (page 248 de sa notice), et même à l'opinion de l'auteur de la note, qui cite, page 132, comme bien construit et bien conservé, le premier puits, c'est-à-dire celui qui a donné le moins, et qui, par conséquent, devrait, dans son système, éprouver la plus grande déperdition.

Quoi qu'il en soit, accordons autant et plus que ne demande l'auteur, et supposons que chacun des quatre puits dont nous avons parlé subisse une déperdition de 1,800 lit. par minute; ce sera, pour les quatre, une perte de 120 lit. par seconde.

(*) Je crois inutile de parler du puits de M. Bretonneau, foré en 1832 ou 1833, et situé au delà de Saint-Cyr, à plus de 2 kilomètres du pont.

Il faudra maintenant expliquer comment ces eaux viennent nuire précisément à deux des piles du pont de Tours, situées dans l'espace renfermé entre les deux petites digues que l'on voit sur la carte de la planche II, sans avoir encore compromis la solidité d'aucune autre construction.

De deux choses l'une ; ou les eaux de ces sources pénètrent transversalement toutes les formations géologiques dont on peut voir l'état dans la note première, ou elles remontent en dehors des tubes, le long de ces tubes, et de là se répandent entre les deux couches où se trouvent fichés les pieux du pont (*).

La première hypothèse ne peut évidemment être celle de l'auteur, car elle n'a pas l'apparence de la vraisemblance : pour qu'elle fût réelle, il faudrait que les couches géologiques fussent entièrement déchirées ; et, s'il en était ainsi, l'eau les aurait pénétrées de tout temps, sans attendre la construction de quelques puits artésiens.

Dans la seconde, il faut admettre que l'eau des nappes alimentaires remonte en dehors des tubes et de là s'écoule dans une formation géologique perméable où sont fichés les pieux. C'est bien ainsi, sans doute, que se font les déperditions dont nous avons parlé, et nous croyons l'avoir suffisamment démontré (32); mais comment l'eau pourrait-elle conserver, à une distance aussi grande, une vitesse suffisante pour exercer des ravinements autour des pieux qui soutiennent les deux piles menacées. La section des filtres ou des cribles naturels traversés par les 120 lit. d'eau dont nous avons accordé la déperdition par seconde s'agrandit à mesure que l'eau s'éloigne des puits, et la vitesse du fluide diminue avec une extrême rapidité, ainsi que nous l'avons prouvé (48). L'influence que cette vitesse pourrait exercer sur l'entourage des pieux est donc absolument nulle.

(*) A l'époque du dommage, les tubes étaient trop nouvellement posés pour avoir encore éprouvé les perforations dont nous avons parlé (49) et sur lesquelles nous reviendrons dans la note huitième.

Je ne conteste, pas, cependant, l'existence des sources de fond que l'auteur a reconnues sous les piles affaissées ; mais on ne peut douter que ces sources ne proviennent du coteau au pied duquel sont situés le pont et le faubourg Saint-Symphorien.

Enfin j'ajouterai à toutes ces considérations que le pont de Tours, à plusieurs époques et bien longtemps avant qu'il fût construit des puits artésiens dans cette ville, a éprouvé des tassements et même des accidents graves.

Mes lecteurs n'exigeront pas, sans doute, qu'après avoir fait voir que la dégradation du pont de Tours ne doit pas être attribuée à l'existence des puits artésiens, je discute les causes réelles de cette dégradation ; ce serait m'écarter de mon but avec d'autant plus d'inutilité que ces causes sont exposées par le même auteur avec la plus grande évidence et avec le plus haut talent, dans le mémoire qui précède la note que j'ai dû combattre. J'indiquerai, surtout, les pages 104, 105 et 106 de ce mémoire aux personnes qui désireront approfondir davantage cette question.

NOTE TROISIÈME.

Sur la relation qui existe entre les crues des rivières ou des réservoirs alimentaires et la variation des produits des puits artésiens.

Les variations éprouvées par les produits des puits forés portent sur la quantité et sur la limpidité des eaux, et l'on peut en voir des exemples fort remarquables dans la notice de M. Arago (pages 209 et suivantes, 221 et suivantes). Ces variations ne se font pas, cependant, remarquer sur tous les puits artésiens ; et il est un grand nombre de ces puits qui paraissent en être tout à fait exempts.

On peut aisément expliquer cette différence par les considérations suivantes :

1°. Les variations, sur la quantité, ne peuvent être appré-

ciables que quand les crues du réservoir ou de la rivière alimentaire sont assez durables pour altérer le régime souterrain et qu'elles sont, en outre, d'une grandeur comparable à la différence de niveau qui existe entre la surface fluide du réservoir et l'orifice du puits.

2°. De quelque part que proviennent les eaux alimentaires, la limpidité de ces eaux, à leur sortie, dépendra, lorsqu'elles auront été absorbées troubles, de la possibilité de leur clarification pendant leur trajet à travers les formations géologiques aquifères.

Cette clarification se fera toujours lorsque la vitesse sera petite et que le trajet sera long.

La vitesse du fluide, même dans le cas d'une circulation indépendante de celle du puits, doit être ordinairement fort petite dans les conduits souterrains, dont la section est incomparablement plus grande que celle des tubes artésiens : le trajet d'ailleurs est presque toujours d'une étendue considérable.

Par conséquent, dans la plupart des cas, les variations des produits doivent être sensiblement nulles.

NOTE QUATRIÈME.

Sur le jaugeage des puits artésiens.

La règle que nous avons donnée pour le jaugeage, au moyen d'un déversoir, n'est que la traduction de la formule connue $Q = 1.80\, l\, h^{\frac{3}{2}}$. (Voyez l'hydraulique de M. d'Aubuisson de Voisins.)

Il se rencontrera, sans doute, des circonstances où l'on ne trouvera pas commode de disposer l'appareil de manière qu'il soit permis de négliger la vitesse acquise par le fluide, avant son arrivée dans la sphère d'activité du déversoir, ou bien de se contenter invariablement du coefficient 0.609, implicitement compris dans la formule $Q = 1.80\, l\, h^{\frac{3}{2}}$.

Alors on recourra à la formule plus générale

$$Q = \frac{2}{3}\sqrt{2g} \times m\,l\,h\sqrt{h + 0.115\,u^2} =$$

$$2.952\,m\,l\,h\,\sqrt{h + 0.115\,u^2},$$

dans laquelle

Q est le volume de l'eau par seconde exprimé en mètres;

g l'intensité de la pesanteur : (à Paris, $g = 9.808$);

m le coefficient de la dépense;

l la longueur du déversoir;

h la hauteur de la lame fluide, comptée, comme nous l'avons dit (93), entre le seuil du déversoir et un point où l'eau n'ait encore éprouvé aucune dépression;

u la vitesse moyenne du fluide, avant son entrée dans la sphère d'activité du déversoir.

Nous donnons, au reste, cette dernière formule pour les personnes familières avec l'usage de l'algèbre et des expériences hydrauliques; mais nous engageons celles qui n'ont pas l'habitude de l'analyse à se servir des autres moyens de jaugeage que nous avons indiqués, lorsqu'elles ne pourront prendre les dispositions exigées pour l'application de la règle de l'article (93).

NOTE CINQUIÈME.

Sur la vitesse de l'eau au fond d'un canal.

On peut, sans erreur appréciable dans la question du n° (114), supposer que la vitesse diminue uniformément depuis la surface jusqu'au fond, et que la vitesse moyenne V_m est une moyenne arithmétique entre la vitesse de la surface V_s et la vitesse du fond V_f, d'où $V_m = \frac{V_s + V_f}{2}$: on en tire $V_f = 2\,V_m - V_s$. Or on sait que V_m est très-approximativement égale à $0.80\ V_s$, d'où $V_s = \frac{V_m}{0.80}$; substituant cette valeur et réduisant, on trouve $V_f = 0.75\ V_m$, comme nous l'avons dit (114).

NOTE SIXIÈME.

Formules des canaux et calculs relatifs aux rigoles d'irrigation.

1°. Formules des canaux.

Ces formules se rapportent au mouvement uniforme, lorsque le régime est établi.

Soient v la vitesse moyenne de l'eau dans le canal;
p la pente par mètre;
S la section;
C le contour ou le périmètre mouillé;
Q la dépense ou le volume;

Le tout exprimé en mètres.

On a les deux équations

$$v = \sqrt{\frac{2736\,p\,S}{C}} - 0.0332 \qquad (1),$$

$$Q = S\,v = S\left(\sqrt{\frac{2736\,p\,S}{C}} - 0.0332\right) \qquad (2).$$

Il faut encore tenir compte de la perte de chute nécessaire en tête du canal pour faire naître la vitesse v : cette perte de chute se calcule par la formule

$$H - h = 0{,}051\,\frac{v}{m^2} \qquad (3),$$

dans laquelle H est la hauteur du réservoir au-dessus du seuil d'entrée; h la hauteur de l'eau dans le canal, lorsque le mouvement y est devenu sensiblement uniforme; $H - h$ est, par conséquent, la perte de chute; v est la vitesse moyenne, et m le coefficient de contraction à l'entrée du canal; coefficient que l'on peut évaluer *moyennement* à $0^m.905$ (hydraulique de M. d'Aubuisson), quand le canal est entièrement ouvert, mais que l'on pourrait augmenter encore en évasant l'entrée.

Si le canal est rectangulaire, ayant l pour largeur et h

pour profondeur (mesurée du fond *à la surface de l'eau*), on aura

$$S = lh$$
$$C = l + 2h,$$

et ces valeurs substituées dans les équations (1) et (2) les changeront en

$$v = \sqrt{\frac{2736\,p\,l\,h}{l+2h}} - 0.0332 \qquad (4),$$

$$Q = S\,v = l\,h\left(\sqrt{\frac{2736\,p\,l\,h}{l+2h}} - 0.0332\right) \qquad (5).$$

La valeur de v transportée dans l'équation (3) donnera

$$H - h = \frac{0.051\left(\sqrt{\frac{2736\,p\,l\,h}{l+2h}} - 0.0332\right)^2}{m^2} \qquad (6).$$

Pareillement, si le canal est trapézoïdal, n étant le rapport de la base à la hauteur du talus et l la largeur au fond, on aura

$$S = (l + nh)\,h,$$
$$C = l + 2h\sqrt{n^2+1},$$

et les équations (1), (2) et (3), traitées en conséquence, deviendront

$$v = \sqrt{\frac{2736\,p\,(l+nh)\,h}{l+2h\sqrt{n^2+1}}} - 0.0332 \qquad (7),$$

$$Q = S\,v = (l+nh)\,h\left(\sqrt{\frac{2736\,p\,(l+nh)\,h}{l+2h\sqrt{n^2+1}}} - 0.0332\right) \qquad (8),$$

$$H - h = \frac{0.051\left(\sqrt{\frac{2736\,p\,(l+nh)\,h}{l+2h\sqrt{n^2+1}}} - 0.0332\right)^2}{m^2} \qquad (9).$$

Ces équations donneront la section et la pente convenables pour les rigoles, et en général la solution de tous les problèmes qui pourront se rencontrer.

2°. Application de ces formules.

On ne devra pas oublier l'observation que nous avons faite sur la diminution de la vitesse et de la dépense théoriques, par la présence des herbes ou des autres obstacles opposés à l'écoulement.

On peut remarquer que le volume Q diminue par sa distribution, à mesure que le fluide s'éloigne du centre d'alimentation, et, pour tenir compte de cette réduction, il faudra fractionner les longueurs des rigoles, évaluer le liquide qui pourra parvenir à chacune des portions et faire autant de calculs séparés.

Il est encore une considération que l'on ne doit jamais perdre de vue dans l'établissement d'un système d'irrigation de l'espèce de celui qui nous occupe ; c'est la nécessité de procurer un écoulement suffisant aux pluies d'orage, afin d'éviter de nombreuses dégradations. Or on sait qu'une très-forte pluie peut donner, en une demi-heure, une lame d'eau de $0^{m}.020$ d'épaisseur, ou 200 mètres cubes par hectare, ce qui revient à $0^{m}.11$ par seconde et par hectare. On devra donc disposer celles des rigoles que la configuration du terrain exposera à recevoir l'accumulation des eaux pluviales, de manière que ces eaux ne puissent, en aucun cas, surmonter ni emporter les vannes ni les barrages qui y seront établis. Il vaudrait mieux, dans cette hypothèse, augmenter au-delà des dimensions indiquées par le calcul la section des rigoles dont nous parlons, que de se soumettre à de si graves inconvénients.

Dans la pratique ordinaire, on pourra se dispenser de considérer les formules (3), (6) et (9). En effet, ces formules font connaître la perte de chute qui est nécessaire pour faire naître la vitesse dans le canal ; et, comme cette vitesse, d'après ce que nous avons dit, sera comprise entre $0^{m}.120$ et $0^{m}.150$, la perte de chute $H - h = 0^{m}.0511 \frac{v^2}{m^2}$, pour la vitesse $v = 0,120$ et pour $m = 0.905$, sera

$$H - h = 0.0009,$$

et pour la vitesse $0^{m}.150$, m restant égal à 0.905,

$$H - h = 0.0014.$$

Ces quantités sont si petites que l'on peut ordinairement se dispenser d'en faire le calcul et se borner à compter, en général, sur une perte de $0^{m}.001$ ou 0.002, en tête du canal supposé ouvert librement.

Les petites vannes qui séparent en plusieurs parties les canaux ou les rigoles alimentaires présentent des rétrécissements où l'eau ne peut pénétrer, en quantité égale à celle qui est conduite dans le canal, que par un accroissement de sa vitesse. Cet accroissement ne peut d'ailleurs s'opérer que par suite d'un abaissement du niveau d'aval au-dessous du niveau d'amont. Il existe donc encore une perte de pente à chaque barrage. On pourra se dispenser de recourir sur ce point aux formules de l'hydraulique, en observant que, pour les vitesses dont nous avons parlé et pour les canaux ordinaires d'irrigation, ces pertes de chute oscilleront entre $0^{m}.006$ et $0^{m}.010$ environ pour chaque vanne.

Maintenant, si nous supposons le canal trapézoïdal, ce qui est le cas le plus ordinaire, nous conseillons, pour éviter l'éboulement des berges, de donner au talus des rigoles principales, $1\frac{1}{2}$ de base pour 1 de hauteur, et de faire la largeur du fond égale à la hauteur. C'est ce que représente la figure (15), dans laquelle la cote h représente la hauteur.

Nous devons donc recourir aux formules (7) et (8) modifiées en vertu de ces suppositions.

La première, lorsque l'on fait $n = \frac{3}{2}$ et $l = h$, devient

$$v = 38.54\sqrt{hp} - 0.0332 \qquad (10).$$

La seconde devient dans la même hypothèse

$$Q = 96.35\, h^{\frac{5}{2}}\sqrt{p} - 0.0830\, h^{2} \qquad (11)$$

Nous avons donc deux équations pour déterminer h.

Nous nous soustrairons facilement à la difficulté que présente l'existence d'une équation de condition, en observant que les seules obligations à remplir rigoureusement, sont :

1° De maintenir la vitesse constante et égale à la valeur fixée ;

2° De rendre possible l'admission dans le canal d'un volume d'eau égal au moins à celui que l'on possède : si les dimensions du canal permettent l'introduction d'un volume plus grand, on renfermera toujours la vitesse et la dépense dans les limites voulues, en manœuvrant convenablement les vannes de manière à ne permettre que l'écoulement nécessaire et à racheter l'excédant de pente que l'on pourra trouver ;

3° De ne choisir pour p ni une valeur qui excède la pente disponible par mètre, ni une valeur tellement petite qu'il faille augmenter sans mesure le développement des rigoles.

D'ailleurs, puisque nous voulons que la vitesse soit constante, nous pouvons nous servir, pour déterminer Q, de l'équation (8) mise sous la forme

$$Q = S\,v = (l + n\,h)\,h\,v \qquad (12).$$

Lorsque $n = \frac{3}{2}$ et que $l = h$, cette équation se réduit à

$$Q = \frac{5}{2}\,h^2\,v \qquad (13),$$

d'où l'on tire

$$h = \sqrt{\frac{2\,Q}{5\,v}} \qquad (14).$$

La valeur de h, ainsi déterminée, *sera un minimum, et l'on ne devra la faire varier qu'en l'augmentant.*

En dégageant p de l'équation (10) on trouvera

$$p = \frac{(v + 0.0332)^2}{1485\,h} \qquad (15);$$

Et, en y portant la valeur de h trouvée ci-dessus, on

verra quelle valeur on obtiendra pour p. Si cette valeur est égale à la pente dont on peut disposer par mètre, ou plus petite, on s'en tiendra aux valeurs ainsi trouvées pour h et pour p; mais, si l'on trouve une valeur trop grande pour p, il faudra augmenter h, et la déterminer par l'équation

$$h = \frac{(v + 0.0332)^2}{1485\, p} \qquad (16),$$

déduite de l'équation (15) et dans laquelle on mettra pour p la pente disponible par mètre.

Il est aisé de voir, par l'inspection des équations qui précèdent, qu'en augmentant ainsi h, on augmentera aussi Q qui croît plus rapidement par h que par p (équation 11); mais, comme nous l'avons fait observer, cela n'a aucun inconvénient, puisque la manœuvre des vannes peut réduire Q à la grandeur convenable.

Pour donner un exemple de ce calcul et de la manière d'en appliquer les résultats, supposons que nous ayons à déterminer les dimensions d'une rigole principale d'irrigation, capable de conduire 1,500 lit. d'eau par minute, ou 25 lit. par seconde, avec une vitesse de 0m.120. Supposons que le développement total de la rigole, selon les contours déterminés approximativement dans l'avant-projet, soit de 2,000 m.; que la pente totale entre le commencement et la fin de cette rigole soit 0m.500, enfin que la rigole soit séparée en plusieurs portions égales par six vannes. (Nous indiquerons, à la fin de cette note, les considérations qui déterminent le nombre de ces portions).

La vitesse moyenne devant être réellement 0m.120, après avoir subi le ralentissement d'un tiers, causé, comme nous l'avons dit, par les herbes et par les obstacles, nous ferons le calcul de manière que la vitesse théorique soit les $\frac{3}{2}$ de celle que nous voulons obtenir, c'est-à-dire que, pour avoir la vitesse moyenne 0m.120, nous devons agir comme si nous

voulions avoir, pour cette vitesse moyenne, $0^m.120 \times \frac{3}{2}$ ou $0^m.180$.

La pente totale devra être diminuée de $0^m.001$ pour la génération de la vitesse à l'entrée du canal, plus de $0^m.008$ (moyenne entre $0^m.006$ et $0^m.010$) par chaque vanne, ce qui fera,

Pour la génération de la vitesse .	0^m 001
Pour les six barrages 6×0.008 .	$0^m.048$
Total de la perte de chute . .	$0^m.049$ environ.

Cette perte, soustraite de la pente totale, laissera pour pente disponible $0^m.451$, et cette quantité, répartie entre les 2,000 m. qui composent le développement approximatif de la rigole, donnera, pour la plus grande pente disponible par mètre,

$$\frac{0.^m.451}{2000} = 0.00022.$$

La dépense ou le volume sera $0^m.025$, et, pour l'obtenir réellement, il faudra, comme pour la vitesse, la multiplier par $\frac{3}{2}$; c'est-à-dire qu'il faudra faire le calcul comme pour une dépense égale à $0^m.025 \times \frac{3}{2} = 0^m.037$.

Ces données, introduites dans la formule (14), la réduisent à

$$h = \sqrt{\frac{2 \times 0.037}{5 \times 0.180}} = 0^m.287.$$

Il nous suffit donc que $h = 0^m.287$, pour que notre canal, avec la vitesse moyenne demandée, transporte le volume d'eau disponible.

Maintenant, mettons cette valeur de h dans l'équation (15), nous obtiendrons

$$p = \frac{(0.180 + 0.0332)^2}{1485 \times 0.287} = 0^m.000106.$$

Comme on le voit, la valeur de h répond à une pente

moins considérable que celle que nous avons à notre disposition. Nous pouvons donc augmenter la longueur de notre rigole, en lui faisant faire des circuits, et, par conséquent, diminuer la pente par mètre. Néanmoins, comme, pour la réduire aux 0m.000106 que nous venons de trouver, il faut en porter le développement à 4221 m.; si nous pensons que ce développement soit exagéré, nous pourrons donner une pente comprise entre 0m.000106 et 0m.00022. En agissant ainsi, nous devrons diminuer l'écoulement et, par conséquent, la vitesse, en manœuvrant convenablement les vannes.

Il faut observer, toutefois, que la pente du remous qui se formera dans ce cas ne sera pas parallèle au terrain, et que, si les vannes étaient assez éloignées pour que la différence de niveau fût grande, il ne pénétrerait pas d'eau dans les rigoles secondaires situées le plus en amont. La figure 16, dans laquelle nous avons outré les pentes pour les rendre plus sensibles, donne une idée de cette disposition de la surface fluide, par rapport à celle du terrain.

AAAA y représente le profil qu'il faudrait donner au fluide pour qu'il pénétrât dans les rigoles situées à l'amont,
BBBB, le profil du terrain,
CCCC, le fond de la rigole.

Cependant, à cause de la pente que conserve toujours la surface fluide, de la situation des rigoles secondaires en contre-bas de cette surface, et de l'épaisseur de la lame qui déborde, on peut remarquer que l'eau pénétrera dans toutes les rigoles secondaires, si, du premier au dernier point de chaque portion de rigole principale, la différence de niveau n'excède pas 0m.08 à 0m.10. Or c'est précisément ce qui a lieu dans notre exemple; car la pente totale disponible, 0m.451, partagée en six portions, donne, pour chaque portion, 0m.075. Il faudrait augmenter le nombre des divisions, si chacune d'elles devait avoir une pente totale trop considérable.

NOTE SEPTIÈME.

Sur la détermination du rayon d'un lavoir.

Nommons :

z, la largeur constante de la zone bâtie;
p, le prix du mètre carré de cette construction;
r, le rayon intérieur du bassin du lavoir;
p', le prix du mètre carré du pavage et de son massif;
P, le prix total;
N, le nombre des places des laveuses;
l, la largeur demandée pour chaque laveuse.

Nous aurons :

Pour la surface de la zone bâtie, $\pi[(r+z)^2-r^2]=2\pi rz+\pi z^2$,
et pour le prix de cette zone, $2p\pi rz+p\pi z^2$.
La surface du bassin sera πr^2,
et son prix, $p'\pi r^2$.
Le prix total sera donc $P=2p\pi rz+p\pi z^2+p'\pi r^2$.
Le nombre des places des laveuses sera exprimé par $N=\frac{2\pi r}{l}$,

et le rapport de ces deux quantités ou $\frac{P}{N}$ représentera le prix coûtant de la place de chaque laveuse : on aura donc

$$\frac{P}{N}=\frac{2p\pi rz+p\pi z^2+p'\pi r^2}{\frac{2\pi r}{l}}.$$

Maintenant observons que p' sera toujours moindre que p. Supposons donc $p'=\frac{p}{m}$; substituons et réduisons, nous aurons :

$$\frac{P}{N}=plz+\frac{plz^2}{2r}+\frac{plr}{2m}.$$

Pour rechercher la valeur de r, qui rend cette expression

un maximum ou un minimum, égalons la fonction à y et différentions, nous aurons :

$$y = p\,l\,z + \frac{p\,l\,z^2\,r^{-1}}{2} + \frac{p\,l\,r}{2\,m}$$

$$\frac{dy}{dr} = -\frac{p\,l\,z^2}{2\,r^2} + \frac{p\,l}{2\,m} = \frac{p\,l(-z^2\,m + r^2)}{2\,r^2\,m}.$$

Les cas de maximum ou de minimum répondent aux valeurs nulles ou infinies de ce coefficient différentiel. Si l'on suppose, d'abord, le numérateur nul, on voit que le prix coûtant de la place de laveuse sera un minimum pour la valeur de r donnée par l'équation $-z^2m + r^2 = 0$ ou $r = z\sqrt{m}$. (Nous rejetons la valeur négative, qui ne peut être d'aucun usage dans l'application) Au contraire, si l'on suppose le dénominateur nul, ce qui donne $r = 0$, on voit que le prix de la place de laveuse serait infini. Enfin on le trouve également infini si l'on suppose $r = \infty$ dans la valeur de $\frac{P}{N}$.

Il en résulte que les valeurs que l'on peut assigner à r augmentent le prix de la place de laveuse, d'autant plus qu'elles s'écartent davantage de $z\sqrt{m}$, et que l'on a beaucoup d'intérêt à rendre m aussi grand que possible, afin de pouvoir faire croître le rayon sans sortir ou, du moins, sans s'écarter beaucoup de la condition du minimum du prix. C'est pour cela que nous avons conseillé le pavage au lieu du dallage, qui coûte généralement beaucoup plus cher. Dans les lieux où l'on pourra se procurer des dallages artificiels d'asphalte à un prix moindre que celui du pavage, on devra s'empresser de profiter de cet avantage, mais sans se dispenser du massif nécessaire pour soutenir l'asphalte.

Il ne faut pas, néanmoins, conclure, de ce qui précède, que la valeur $r = z\sqrt{m}$ soit rigoureusement nécessaire pour la meilleure disposition de l'établissement. Si cette valeur n'était convenable, ni au volume fourni par le

puits artésien, ni au nombre des laveuses que l'on aurait à recevoir, il pourrait, assurément, être utile de l'augmenter, quoique chaque place dût coûter un peu plus cher. Le calcul, on le sent bien, ne peut exprimer ces considérations financières; mais il n'en est pas moins utile, parce qu'il signale la dimension qui mène à l'exécution la moins dispendieuse, et qu'il invite, par conséquent, à s'en rapprocher le plus possible.

Les autres formes que l'on peut donner au lavoir présentent des questions semblables de minimum, sur lesquelles nous ne nous arrêterons pas, attendu que ce qui précède suffit pour indiquer la manière de les résoudre au moyen d'une différentiation très-simple et très-facile.

NOTE HUITIÈME.

Remarques sur les déperditions qui peuvent résulter des perforations des tuyaux.

Les perforations dont j'ai parlé (49) constituent, pour le produit d'un puits artésien, une cause très-énergique de diminution que je regrette de n'avoir pas traitée d'une manière très-explicite. Supposons, en effet, les dispositions suivantes :

L'orifice versant ses eaux à 5 mètres au-dessus du sol;

La charge fictive égale à 1 mètre;

La vitesse égale à 1 mètre, dans le tube;

La nappe d'infiltration qui alimente les puits ordinaires, située à 4 mètres au-dessous du sol;

Le diamètre d'une des perforations égal à $0^m.02$;

Cette perforation, située à 10 mètres au-dessous du sol, dans une couche géologique perméable;

La valeur de R (23) égale à $0^m.200$;

La pression sur la perforation que nous considérons sera (23),

$$(H-h-h')+EF-\frac{v^2}{2g}-R=$$
$$1+(10+5)-0.051-0.200=15^m.749.$$

La contre-pression sera 10—4 mètres ou 6 mètres, et, par conséquent, la différence, entre la charge intérieure et la charge extérieure, sera 9.749. Ce sera cette différence qui opérera l'écoulement.

La formule connue

$$Q=mS\sqrt{2gh'},$$

dans laquelle

Q exprime le volume écoulé,

m le coefficient de la dépense (0.62, très-approximativement),

S la section de l'ouverture,

g l'intensité de la pesanteur,

h' la différence des charges,

donnera donc

$$Q=0^m.0027\,;$$

c'est-à-dire près de 3 litres par seconde, ou 162 litres par minute.

Il est, par conséquent, d'une extrême importance de prendre toutes les mesures nécessaires pour prévenir l'altération des tubes, et nous devons dire que l'emploi de ceux de fer ou de fonte nous paraît avoir de grands inconvénients, jusqu'à ce que l'on ait trouvé un moyen sûr et sanctionné par l'expérience, pour les préserver de l'oxydation (49).

Nous croyons donc que les tubes en cuivre ou en bois sont infiniment préférables.

FIN DES NOTES.

TABLE DES MATIÈRES.

PREMIÈRE PARTIE.

THÉORIE DES PUITS ARTÉSIENS.

CHAPITRE I. — *Notions préliminaires.*

CHAPITRE II. — *Théorie générale.*

SECONDE PARTIE.

APPLICATION PRATIQUE DE LA THÉORIE A L'EMPLOI DES PUITS ARTÉSIENS.

NOTES.

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

ERRATA (*).

Page i, ligne dernière, *au lieu de* chap. III, *lisez* chap. II.
— xiij — 20, *au lieu de* le cinquième ou même le quart, *lisez* le quart ou même le cinquième.
— 26 — première, *au lieu de* 0055 ν, *lisez* 0.055 ν.
— 37 — 8 en remontant, *au lieu de* $\Sigma\ \varphi \left(\frac{\nu''', C'', \Delta L'''}{S'''}\right)$, *lisez* $\Sigma\ \varphi \left(\frac{\nu''', C''', \Delta L'''}{S'''}\right)$.
— 51 — 3, *au lieu de* —*mh*—*a*) =, *lisez* —*m* (*h*—*a*)= .
— 51 — 5, *au lieu de* $\Sigma\ \varphi \left(\frac{\nu'_a , C, \Delta\ L'}{S'}\right)$, *lisez* $\varphi \left(\frac{\nu'_a, C', \Delta L'}{S'}\right)$.
— 52 — 3, *au lieu de* 000137, *lisez* 0.00137.
— 71, en tête du tableau, *lisez* de Tours et d'Elbeuf.
— 81 — 10, — du tableau, — du tableau du n° 50.
— 93, *ajoutez à la fin du numéro* 64 : Avant M. Join Lambert, MM. Turgis, Jacques et Pierre Grandin, Victor Grandin, avaient fait, à Elbeuf, de semblables entreprises, que l'état encore peu avancé de l'art des sondages avait rendues incomplètes; ces honorables manufacturiers doivent donc partager les droits de M. Join Lambert à la reconnaissance de leur cité.
— 95 — 19, *ajoutez* 30, 31, 32, 33, 34.... 35, 36, 37.
— 99 — 9, *au lieu de* h = 666, *lisez* h = 6.66.
— 119 (149, fausse pagination), — 119.
— 145 — 9, *au lieu de* en prenant pour h'_a et h'_b, *lisez* en prenant pour déterminer h'_a et h'_b.
— 155 — 17, *au lieu de* $\frac{0.50}{2}$, *lisez* $\frac{0.050}{2}$.

(*) La plupart des fautes que nous signalons n'existent pas dans tous les exemplaires; car nous avons compris dans cette liste tous les cas où un signe écrasé ou mal venu nous a paru exposer le lecteur au moindre doute.

Page 173, *ajoutez à la note qui termine la page :* L'expérience citée par M. Genieys ne peut se concilier avec les observations faites sur l'évaporation totale annuelle qu'en supposant que, dans l'expérience en question, le fluide était exposé au soleil d'été en lame assez mince pour s'échauffer beaucoup.

— 194 — 8, *au lieu de* essetiellement, *lisez* essentiellement.

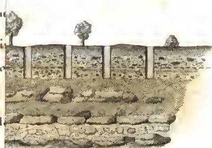
— 208 — 13, — comme ainsi dire, — pour ainsi dire.

— 209 — 15, — éblanlées, — ébranlées.

— 216 — 10, — avec fragment, — avec fragments.

le ---

e --- Fig. 2.

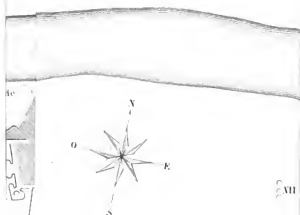




A. Le Blanc sculp.


BIBLIOTECA NAZIONALE VITTORIO EMANUELE III
NAPOLI

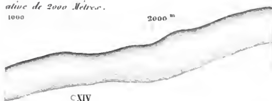
RS.



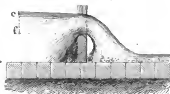
r.
u.
ague.

4.

PETIT à la Ville aux Dames.



A. Leblanc sculp.

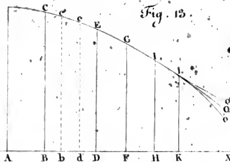


10.
D
B

Echelle des hauteurs.
5
10 Mètres

Echelle des Produits.
5
10
15
20 Litres

11.



A. Le Blanc, sculp.

Fig. 14



Fig. 16.

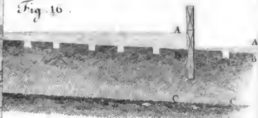


Fig. 17.



Fig. 18.

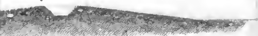
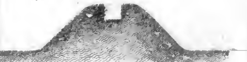


Fig. 19.



A. Le Blanc sculp



. 20 .

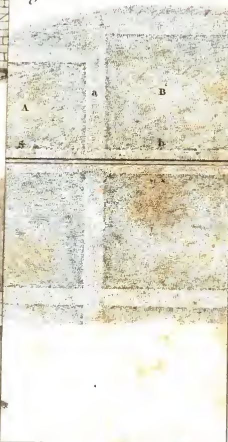
ut A B du Pl



22 .



Fig. 23 .



A. Le Blanc sculp.



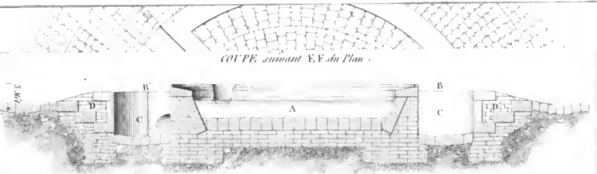
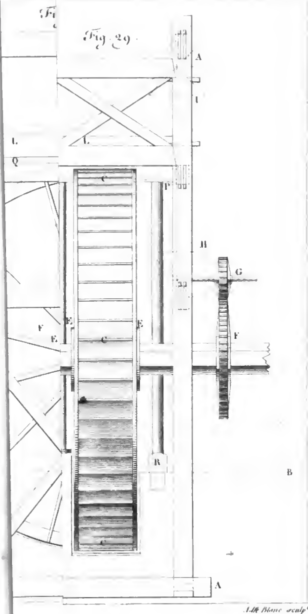




Fig. 27.

A. Le Blanc sculp.



A. le Blanc sculp.

